



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

REINALDO PADILHA FRANÇA

PROPOSTA DE UM MÉTODO COMPLEMENTAR DE COMPRESSÃO DE DADOS
POR MEIO DA METODOLOGIA DE EVENTOS DISCRETOS APLICADA EM UM
BAIXO NÍVEL DE ABSTRAÇÃO

(PROPOSAL OF A COMPLEMENTARY METHOD OF DATA COMPRESSION BY
DISCRETE EVENT METHODOLOGY APPLIED AT A LOW LEVEL OF
ABSTRACTION)

CAMPINAS

2018

REINALDO PADILHA FRANÇA

PROPOSTA DE UM MÉTODO COMPLEMENTAR DE COMPRESSÃO DE DADOS
POR MEIO DA METODOLOGIA DE EVENTOS DISCRETOS APLICADA EM UM
BAIXO NÍVEL DE ABSTRAÇÃO

(PROPOSAL OF A COMPLEMENTARY METHOD OF DATA COMPRESSION BY
DISCRETE EVENT METHODOLOGY APPLIED AT A LOW LEVEL OF
ABSTRACTION)

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação da
Universidade Estadual de Campinas como parte
dos requisitos exigidos para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica, na área de
Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica.

Dissertation presented to the Faculty of Electrical
and Computing Engineering of the University of
Campinas in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master in Engineering Electrical,
in the area of Electronics, Microelectronics and
Optoelectronics.

Orientador: Prof. Dr. Edson Moschim (*In Memoriam*)
Co-Orientador: Prof. Dr. Yuzo Iano

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FI-
NAL DE DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
REINALDO PADILHA FRANÇA, E ORIENTADO
PELO PROF. DR. EDSON MOSCHIM E CO-
ORIENTADO PELO PROF. DR. YUZO IANO.

CAMPINAS
2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CNPq, 132495/2016-3

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

P134p Padilha, Reinaldo França, 1989-
Proposta de um método complementar de compressão de dados por meio da metodologia de eventos discretos aplicada em um baixo nível de abstração / Reinaldo Padilha França. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Edson Moschim.

Coorientador: Yuzo Iano.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Simulação de eventos discretos. 2. Telecomunicações. I. Moschim, Edson, 1953-. II. Iano, Yuzo, 1950-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Proposal of a complementary method of data compression by discrete event methodology applied at a low level of abstraction

Palavras-chave em inglês:

Simulation of discrete events

Telecommunications

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

Yuzo Iano [Coorientador]

Rogério Seiji Higa

Carlos Eduardo Câmara

Data de defesa: 29-01-2018

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Candidato: Reinaldo Padilha França

RA: 180568

Data da Defesa: 29 de Janeiro de 2018

Título da Tese: "Proposta de Um Método Complementar de Compressão de Dados Por Meio da Metodologia de Eventos Discretos Aplicada Em Um Baixo Nível de Abstração”

(Proposal of A Complementary Method of Data Compression by Discrete Event Methodology Applied at A Low Level of Abstraction)

Banca:

Prof. Dr. Yuzo Iano (Presidente, Feec/Unicamp)

Prof. Dr. Rogério Seiji Higa (Membro Titular Externo, Instituto de Pesquisas Eldorado)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Câmara (Membro Titular Interno, UniAnchieta)

A ata de defesa, com as respectivas assinaturas dos membros da Comissão Julgadora, encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a seus anjos por me permitirem a vida, me ajudarem até aqui, perante tanta vida já vivida, com fé, entusiasmo, energia, luta e determinação.

Agradeço a minha família, meu pai principalmente, por todo apoio e fé em meus sonhos, me motivando, cobrando, acreditando, encorajando e me incentivando a cada vez mais chegar mais longe, assim como todo o amor, companheirismo, amizade e parceria.

Agradeço enormemente a meu orientador, falecido Prof^o Dr Edson Moschim, por toda confiança em mim depositada, pelo apoio dado, as cobranças por melhor desempenho, os conselhos, a amizade firmada e a oportunidade concedida, meu muito obrigado!

Agradeço enormemente ao meu co-orientador, Prof^o Dr Yuzo Iano, por todo apoio, energia, vontade, ajuda e a mão estendida e os braços abertos de ajuda nas horas de dificuldade, assim como a oportunidade de um novo horizonte. Grato também pelo aprendizado e o conhecimento transmitido, os conselhos e sugestões sempre de grande peso e valor, e da mesma forma a amizade firmada.

Agradeço a todos que me ajudaram na conclusão deste trabalho acadêmico de pesquisa, o pessoal do LCV, Hermes, Abel, Paulo, Diego, Sílvio; e a minha namorada Carol pela companhia, parceria, ajuda nos momentos complicados e todos os sentimentos mútuos compartilhados.

Enfim, agradeço a vida pelas questões e lições ensinadas e aprendidas, uma divina amizade e o laço criado.

Muito obrigado a tudo e todos!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), o Departamento de Semicondutores, Instrumentos e Fotônica (DSIF), o Departamento de Comunicações (DECOM), a Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC), o Laboratório de Comunicações Visuais (LCV) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pelo apoio no desenvolvimento da minha dissertação de mestrado.

Muito obrigado a todos!

“Eu sou o que sou”

Antonio Padilha.

RESUMO

O presente trabalho implementa um modelo baseado em eventos discretos aplicados em um baixo nível de abstração em um sistema de telecomunicações chamado método híbrido, sendo usado o ambiente de simulação Simulink[®] do software *Matlab*[®]. Com o objetivo de melhorar a transmissão da informação em sistemas de telecomunicações e contribuir para a área de estudo, em ambiente de simulação é proposto um processo de pré-codificação de bits baseada na aplicação de eventos discretos no sinal antes do processo de modulação. A proposta traz uma abordagem diferente do que se é usualmente feito, na qual a transmissão de sinal no canal é realizada no domínio discreto com a implementação de entidades discretas no processo de geração de bits, tendo como ênfase o bit zero. Na simulação são considerados formatos de modulação avançada para transmissão de sinal em um canal AWGN. Os resultados mostram melhorias na utilização da memória e no desempenho computacional, sendo de 9 a 34%, assim como também ao tempo de simulação. Sendo assim, a extensão desses resultados, tem um forte impacto no melhoramento de métodos realizados em camadas mais altas, já que a proposta atua na camada física.

Palavras chaves: Pré-Codificação; Eventos Discretos; Simulação; Telecomunicações; Metodologia.

ABSTRACT

The present work implements a model based on discrete events applied at a low level of abstraction in a telecommunication system named hybrid method, being used the Simulink[®] simulation environment of the *Matlab[®] software*. With the objective of improving the transmission of information in telecommunication systems and contribute to the study area, in simulation environment is proposed a pre-coding process of bits based in the application of discrete events in the signal before of the modulation process. The proposal brings a different approach of usual technical, in which the signal transmission on the channel is realized in the discrete domain with the implementation of discrete entities in the process of bit generation having as emphasis the zero bit. In the simulation are considered advanced modulation formats for signal transmission in an AWGN channel. The results show improvements in memory utilization and computational performance, from 9 to 34%, as well as simulation time. Thus, the extension of these results has a strong impact on the improvement of methods performed in higher layers, since the proposal acts on the physical layer.

Key-words: Pre-coding; Discrete Events; Simulation; Telecommunications; Methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico eventos DES	28
Figura 2 - Distribuições Rayleigh e Rician	31
Figura 3 – Constelação DQPSK teórica	32
Figura 4 – Constelação DBPSK teórica	33
Figura 5 - Modelo tradicional de um sistema de telecomunicação	65
Figura 6 - Execução de uma fila FIFO e suas operações	67
Figura 7 – Caminho/percurso das entidades	67
Figura 8 – Proposta	69
Figura 9 – Modelo de um sistema de telecomunicação com a proposta	69
Figura 10 – Sinal gerado	70
Figura 11 - Sinal modulado DQPSK.....	71
Figura 12 - Sinal após passagem pelo canal AWGN	71
Figura 13 – Verificação da igualdade dos sinais DQPSK.....	71
Figura 14 – Compass DQPSK (acima) e com proposta (embaixo).....	72
Figura 15 – Constelação DQPSK (em cima) e com proposta (embaixo).....	72
Figura 16 - Sinal modulado DBPSK	73
Figura 17 - Sinal DBPSK após passagem pelo canal AWGN	73
Figura 18 – Compass DBPSK (em cima) e com proposta (embaixo).....	74
Figura 19 – Constelação DBPSK (em cima) e com proposta (embaixo).....	74
Figura 20 - Modelo wireless.....	75
Figura 21 - Modelo wireless com a proposta	75
Figura 22 – Sinal Raileygh após passar pelo canal AWGN.....	76
Figura 23 – Constelação DQPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo)	76
Figura 24 – Sinal Rician após passar pelo canal AWGN.....	77
Figura 25 – Constelação DQPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo)	77
Figura 26 – Sinal DBPSK Raileygh após passar pelo canal AWGN.....	78
Figura 27 – Constelação DBPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo).....	78
Figura 28 – Sinal DBPSK Rician após passar pelo canal AWGN.....	78
Figura 29 – Constelação DBPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo).....	79
Figura 30 – Sintaxe tic toc.....	81

Figura 31 – Função tic toc modelo DQPSK.....	81
Figura 32 – Função tic toc modelo DQPSK Rayleigh	81
Figura 33 – Função tic toc modelo DQPSK Rician	82
Figura 34 – Função tic toc modelo DBPSK	82
Figura 35 – Função tic toc modelo DBPSK Rayleigh	82
Figura 36 – Função tic toc modelo DBPSK Rician	83
Figura 37 – Sintaxe sldiagnostics.....	83
Figura 38 – Função sldiagnostics modelo DQPSK.....	84
Figura 39 – Função sldiagnostics modelo DQPSK Rayleigh	84
Figura 40 – Função sldiagnostics modelo DQPSK Rician	85
Figura 41 – Função sldiagnostics modelo DBPSK	85
Figura 42 – Função sldiagnostics modelo DBPSK Rayleigh.....	86
Figura 43 – Função sldiagnostics modelo DBPSK Rician.....	86
Figura 44 – Sintaxe cputime.....	86
Figura 45 – Função cputime modelo DQPSK.....	87
Figura 46 – Função cputime modelo DQPSK Rayleigh	87
Figura 47 – Função cputime modelo DQPSK Rician	88
Figura 48 – Função cputime modelo DBPSK.....	88
Figura 49 – Função cputime modelo DBPSK Rayleigh	88
Figura 50 – Função cputime modelo DBPSK Rician	89
Figura 51 – Primeira simulação (tempo) modelo DQPSK.....	89
Figura 52 – Primeira simulação (tempo) modelo DQPSK Rayleigh	90
Figura 53 – Primeira simulação (tempo) modelo DQPSK Rician	90
Figura 54 – Primeira simulação (tempo) modelo DBPSK.....	90
Figura 55 – Primeira simulação (tempo) modelo DBPSK Rayleigh	91
Figura 56 – Primeira simulação (tempo) modelo DBPSK Rician	91
Figura 57 – Lógica comparativa comandos	91
Figura 58 – Resultado da lógica comparativa comandos	92
Figura 59 – Consumo de memória modelo DQPSK.....	93
Figura 60 – Consumo de memória modelo DQPSK Rayleigh.....	93
Figura 61 – Consumo de memória modelo DQPSK Rician.....	93
Figura 62 – Consumo de memória modelo DBPSK	94

Figura 63 – Consumo de memória modelo DBPSK Rayleigh.....	94
Figura 64 – Consumo de memória modelo DBPSK Rician.....	94
Figura 65 – Primeira simulação (memória) modelo DQPSK	95
Figura 66 – Primeira simulação (memória) modelo DQPSK Rayleigh	95
Figura 67 – Primeira simulação (memória) modelo DQPSK Rician	96
Figura 68 – Primeira simulação (memória) modelo DBPSK.....	96
Figura 69 – Primeira simulação (memória) modelo DBPSK Rayleigh	96
Figura 70 – Primeira simulação (memória) modelo DBPSK Rician	97
Figura 71 – Performance DQPSK BER	98
Figura 72 – Performance DQPSK Rayleigh BER.....	98
Figura 73 – Performance DQPSK Rician BER.....	99
Figura 74 – Performance DBPSK BER	99
Figura 75 – Performance DBPSK Rayleigh BER	99
Figura 76 – Performance DBPSK Rician BER	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Parâmetros modelos canal DQPSK	70
Tabela 2.	Melhoria computacional	95
Tabela 3.	Relação de consumo de memória em i3 (em MB)	97
Tabela 4.	Relação de consumo de memória em i5 (em MB)	97

LISTA DE ABREVIATURAS

AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
DBPSK	<i>Differential Binary Phase Shift Keying</i>
DQPSK	<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>
DES	<i>Discrete Event Simulation</i>
MRCC	<i>Mobile Radio Communication Channel</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
LOS	<i>Line of Sight</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
DVS	<i>Dynamic Voltage Scaling</i>
WRED	<i>Weighted Random Early Detection</i>
NCS	<i>Network Control System</i>
QSE	<i>Quantitative Security Evaluation</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
TiMDPs	<i>Time-dependent Markov Decision Processes</i>
TCC	<i>TCP Contention Control</i>
SW	<i>Stop-and-Wait</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat reQuest</i>
MBSE	<i>Model-Based Systems Engineering</i>
EPS	<i>Evolutionary Production Systems</i>
MCCSC	<i>Modeling Commodities Consumer Supply Chain</i>
P-D	<i>Produção-Distribuição</i>
FIFO	<i>First-In-First-Out</i>
PDF	<i>Probability Density Function</i>
NoC	<i>Network on Chip</i>
DoS	<i>Denegação de Serviço</i>
DEVS	<i>Discrete Event System Specification</i>
DEDS	<i>Discrete Event Dynamic Systems</i>
PN	<i>Petri Network</i>

OG	<i>Oriented Graphics</i>
SM	<i>State Machines</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
AGVS	<i>Automated Guided Vehicle Solutions</i>
PCX	<i>Priority Composition With Exclusion</i>
PSC	<i>Priority Synchronous Composition</i>
ACD	<i>Automatic Call Distributors</i>
SBR	<i>Skills-Based Routing</i>
DAS	<i>Department of Automation and Systems</i>
SCT	<i>Supervisory Control Theory</i>
TSA	<i>Transportation Security Administration</i>
DHS	<i>Department of Homeland Security</i>
SCO	<i>Security Checkpoint Optimizer</i>
SBA	<i>Service-Based Applications</i>
QoS	Qualidade de Serviço
SENSIM	<i>Sensor Networks Simulator</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
FIS	<i>Fuzzy Inference System</i>
ALRE	<i>Aircraft Launch and Recovery Equipment</i>
SOA	Arquitetura Orientada a Serviços
DTN	<i>Disruption Tolerant Networking</i>
DTPN	<i>Delay Time Petri Network</i>
TPN	<i>Time Petri Network</i>
CoMP	<i>Cooperative Multi-Point</i>
ITC	<i>Information Technology Services</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
IID	Independentes e Identicamente Distribuídos
FCFS	<i>First Come First Served</i>
ZOH	<i>Zero-Order Hold</i>
AGC	<i>Automatic Gain Control</i>

SIL	<i>Software-in-the-Loop</i>
PIL	<i>Processor -in-the-Loop</i>
MB	<i>MegaByte</i>

LISTA DE PUBLICAÇÕES

ARTIGOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS E ANAIS DE CONGRESSOS

França, R. P.; Martins, I. B.; Moschim, E.; “Discrete Event Simulation and Dynamical System: A study of art”. BTSym'16, v.1., p. 15, Campinas, SP – Brasil, December 2016
[ISSN 2447-8326](#)

Padilha, R.; Iano, Y.; Moschim, E.; Loschi, J. H.; “Computational Simulation Performance Based In Hybrid Model For Broadcasting Systems”, in SET INTERNATIONAL JOURNAL OF BROADCAST ENGINEERING, SET IJBE, v. 3, 2017
[ISSN 2446-9432](#) / [ISSN 2446-9246](#)

Padilha, R.; Iano, Y.; Moschim, E.; Monteiro, B. C. A.; Loschi, J. H.; “Computational Simulation Performance based in Hybrid Model for Telecommunication Systems”. BTSym'17, v.3., Campinas, SP – Brasil, December 2017. BTSym 2017 Proceedings.
[ISSN 2447-8326](#)

Padilha, R.; Iano, Y.; Moschim, E.; Monteiro, B. C. A.; Loschi, J. H.; “Computational Performance of An Hybrid Model for Wireless Telecommunication Systems with Multipath Rayleigh”. BTSym'17, v.3., Campinas, SP – Brasil, December 2017.
[ISSN 2447-8326](#)

Loschi, J. H.; Iano, Y.; Nascimento, A., D.; Ferreira, L. A. S.; **Padilha**, R.; “An Algorithm for Development of Transition Probabilities Matrices to Predicting Ramp Events, based on Markov Model”. International Journal of Development and Sustainability, 2017.

Monteiro, B. C. A.; Iano, Y.; **Padilha**, R.; “An Improved and Fast Methodology for Automatic Detecting and Counting of Red and White Blood Cells Using Watershed Transform”. VIII Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas (SIIM)|VII Simpósio de Processamento de Sinais da UNICAMP (SPS) - SIIMSPS 2017. São Bernardo do Campo, SP – Brasil, 2017.
[ISSN 2359-3334](#).

Monteiro, B. C. A.; Iano, Y.; **Padilha**, R.; “An Improved and Fast Methodology for Automatic Detecting and Counting of Red and White Blood Cells Using Watershed Transform”. BTSym'17, v.3., Campinas, SP – Brasil, December 2017.
[ISSN 2447-8326](#)

Monteiro, B. C. A.; Iano, Y.; **Padilha**, R.; “A Methodology for Determining Hematimetric Indices Using High Accuracy Algorithms”. BTSym'17, v.3., Campinas, SP – Brasil, December 2017.
[ISSN 2447-8326](#)

Monteiro, B. C. A.; Iano, Y.; **Padilha**, R.; “General Aspects of Pathophysiology, Diagnosis and Treatment of Sickle Cell Disease”. BTSym'17, v.3., Campinas, SP – Brasil, December 2017.
[ISSN 2447-8326](#)

ARTIGOS ACEITOS EM PERIÓDICOS E ANAIS DE CONGRESSOS

França, R. P.; Martins, I. B.; Moschim, E.; "Analytical Study On Simulation Techniques Of Discrete Events And Dynamic Systems In A Telecommunication System". 18th International Conference on Computational Methods and Experimental Measurements (CMEM), Alicante, Spain, July 2017

França, R. P.; Martins, I. B.; Moschim, E.; "Analytical Study On Simulation Techniques Of Discrete Events And Dynamic Systems In A Telecommunication System". IEEE UKSim-AMSS 19th International Conference on Modelling & Simulation 2017, Cambridge University (Emmanuel College), England, UK, April 2017

França, R. P.; Iano, Y.; Moschim, E.; " Computational Simulation Performance Based in Hybrid Model for Wireless Telecommunication Systems". Symposium on Recent Advances in Communication Theory, Information Theory, Antennas and Propagation (CIAP'17), Manipal University, Karnataka, India, 13-16 September 2017

França, R. P.; Iano, Y.; Moschim, E.; " Computational Simulation Performance Related to a Hybrid Model for Telecommunication Systems". International Conference on Research and Innovation in Computer Engineering and Computer Sciences (RICCES), Langkawi Island, Kedah, Malaysia, 15-17 August 2017

França, R. P.; Iano, Y.; Moschim, E.; " Computational Simulation Performance based in a Hybrid Model for Wireless Telecommunication Systems". 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC 2017), Melbourne, Australia, 22-24 November 2017

França, R. P.; Iano, Y.; Moschim, E.; " Computational Simulation Performance based in a Hybrid Model for Telecommunication Systems". 11th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS'2017), Gold Coast, Australia, 13-15 December 2017

França, R. P.; Iano, Y.; Moschim, E.; " Computational Performance based in Hybrid Model for Telecommunication Systems". 2nd International Conference on Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (ICTEC 2017), Historical City of Melaka, Malaysia, 27-28 November 2017

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Motivação	22
1.2	Objetivos.....	23
1.3	Estrutura da Dissertação	23
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	25
2.1	Simulação	25
2.2	Simulação de Eventos Discretos (DES)	25
2.2.1	Eventos	27
2.2.2	Entidades	28
2.3	Canal AWGN	29
2.4	Canal de Comunicação Móvel.....	29
2.5	DPSK vs PSK	31
2.5.1	Modulação DQPSK (<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>)	32
2.5.2	Modulação DBPSK (<i>Differential Binary Phase Shift Keying</i>)	33
2.6	Síntese do Capítulo 2	33
3	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	36
3.1	MATLAB e <i>Simulink</i>	36
3.2	<i>SimEvents</i>	37
3.3	Uso da Metodologia de Eventos Discretos	45
3.3.1	Ano 1994	45
3.3.2	Ano 2000	46
3.3.3	Ano 2001	46
3.3.4	Ano 2002	47
3.3.5	Ano 2003	48
3.3.6	Ano 2004	50
3.3.7	Ano 2005	52
3.3.8	Ano 2006	53
3.3.9	Ano 2007	54
3.3.10	Ano 2008	56

3.3.11	Ano 2009	57
3.3.12	Ano 2010	57
3.3.13	Ano 2011	58
3.3.14	Ano 2012	59
3.3.15	Ano 2013	60
3.3.16	Ano 2014	60
3.3.17	Ano 2015	61
3.3.18	Ano 2016	62
3.3.19	Ano 2017	62
3.4	Síntese do Capítulo 3	64
4	METODOLOGIA PROPOSTA.....	65
4.1	Modelagem	65
4.2	Implementação.....	66
4.1	Modulação DQPSK	70
4.2	Modulação DBPSK	73
4.3	Modelagem <i>Wireless</i>	74
4.4	Modulação DQPSK	76
4.5	Modulação DBPSK	77
4.6	Síntese do Capítulo 4.....	79
5	RESULTADOS.....	80
5.1	Avaliação de Tempo de Simulação	80
5.1.1	Função <i>Tic Toc</i>	80
5.1.1.1	Modelo DQPSK.....	81
5.1.1.2	Modelo DBPSK	82
5.1.2	Função <i>Sldiagnostics</i>	83
5.1.2.1	Modelo DQPSK.....	84
5.1.2.2	Modelo DBPSK	85
5.1.3	Função <i>Cputime</i>	86
5.1.3.1	Modelo DQPSK.....	87
5.1.3.2	Modelo DBPSK	88

5.1.4	Primeira Simulação de Tempo	89
5.1.4.1	Modelo DQPSK.....	89
5.1.4.2	Modelo DBPSK.....	90
5.1.5	Tempo de Simulação vs Tempo de Computação	91
5.2	Avaliação do Consumo de Memória	92
5.2.1	Modelo DQPSK	93
5.2.2	Modelo DBPSK.....	94
5.2.3	Primeira Simulação de Memória.....	94
5.2.3.1	Modelo DQPSK.....	95
5.2.3.2	Modelo DBPSK	96
5.3	BER (<i>Bit Error Rate</i>).....	97
5.4	Síntese do Capítulo 5	100
6	CONCLUSÕES	102
7	TRABALHOS FUTUROS.....	103
8	REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho é mostrado e explicado o desenvolvimento de uma proposta, chamada de pré-codificação de bits por meio da metodologia de eventos discretos, sendo entendida como o tratamento do *bit* com a metodologia de eventos discretos na etapa da geração de *bits* do sinal (informação), seguindo uma abordagem diferente da convencional e atuando no menor nível de abstração possível, os *bits*.

Tendo como resultado a compressão da informação e resultados adicionais, a idealização em canais wireless, esta igualizando o seu consumo de recursos para um canal sem as técnicas de propagação do sinal por múltiplos caminhos, exibindo um alto potencial sobre sistemas MIMO dentro do contexto NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access), o futuro acesso celular via rádio, o 5G.

1.1 Motivação

Através da simulação computacional, sistemas reais podem ser estudados de forma dinâmica e flexível, permitindo que mudanças de vários aspectos possam ser avaliadas e propostas facilmente sem que haja um *setup* experimental físico. Essa flexibilidade permite ajustar os parâmetros do projeto, visando melhorar o desempenho do sistema como um todo e minimizando custos.

Este trabalho identificou os pontos fortes da metodologia de eventos discretos, visualizando suas possibilidades de aplicações e contribuições para um sistema de telecomunicações, o que permitiu o desenvolvimento de um modelo híbrido para a transmissão de um sinal em um canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) usando os formatos de modulação avançado DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) e DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*), em um ambiente de simulação, usado para este fim, foi o Simulink, do software MATLAB, onde um tratamento do bit com a metodologia foi empregado na etapa da sua geração, convertendo os em entidades discretas.

Através das pesquisas realizadas verificou-se que a técnica de “eventos discretos” é normalmente utilizada na camada de transporte em sistemas de telecomunicações, e os sistemas de telecomunicações seguem uma metodologia de compressão de dados tradicional através da extração da redundância da informação.

A partir desta pesquisa realizada, foi motivada a implementação da técnica de “eventos discretos” em um sistema de telecomunicações, aplicando-a na camada física como diferencial e proposta de inovação, considerando que em tempos cada vez mais tecnológicos como hoje, é necessário o desenvolvimento de propostas cada vez mais eficientes as quais consumam cada vez menos recursos computacionais, como a memória, e que aumentem o desempenho desse sistema.

1.2 Objetivos

- Desenvolver uma abordagem diferente da técnica usual, na qual a transmissão no canal é realizada no domínio discreto com a implementação de entidades discretas no processo de geração de *bits*;
- Otimizar a eficiência da transmissão de informação através da compressão de dados em um canal de transmissão;
- Aplicar a metodologia de eventos discretos na camada física de um canal de transmissão, atuando em um baixo nível de abstração, sendo este o bit gerado para transmissão;
- Comparar os resultados a nível de simulação, sendo eles o consumo de memória e o tempo de simulação como estimativas de performance do modelo com a proposta desenvolvida.

1.3 Estrutura da Dissertação

Nesse primeiro capítulo é dada uma introdução ao trabalho, expondo a motivação, os objetivos e a estrutura dessa dissertação.

No capítulo “2” são abordados o funcionamento da técnica de simulação a eventos discretos, a introdução aos conceitos e características da metodologia, a caracterização e diferenciação de eventos e entidades, a apresentação da pesquisa bibliográfica realizada sobre o tema, da mesma forma são abordados o canal AWGN e os formatos de modulação avançado DQPSK e DBPSK.

No capítulo “3” é apresentada a pesquisa e a revisão da literatura referentes as últimas duas décadas, onde por meio da análise de publicações científicas, é demonstrado o uso e aplicação da metodologia de Eventos Discretos.

O capítulo “4” apresenta a proposta deste trabalho, com base no modelo híbrido desenvolvido com a metodologia de eventos discretos, e a proposta realizada, explicando detalhadamente como o mesmo foi desenvolvido.

No capítulo “5” são apresentados os resultados obtidos segundo a proposta implementada, sobre a ótica das análises de tempo de simulação, o tempo de computação e consumo de memória, comprovando e expondo os resultados sobre o modelo desenvolvido afirmando o potencial da proposta.

Finalmente, no capítulo “6”, é feita a conclusão do trabalho e no capítulo “7” são apresentadas as perspectivas e possibilidades da continuidade desta pesquisa como trabalhos futuros.

E por fim, o capítulo “8” traz todas as referências bibliográficas utilizadas na confecção deste trabalho.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Simulação

Simulação pode ser entendida como uma "imitação" de um processo ou sistema do mundo real. Para a modelagem de um sistema, é necessário assimilar o seu conceito. Um sistema é definido como um grupo de objetos que estão agregados de acordo com uma relação de interdependência [5] [16] [111] [112] [113].

Um modelo, em engenharia, pode ser definido como uma representação de um sistema com o intuito de estudá-lo. Para se desenvolver propostas de melhorias em um sistema, é necessário considerar os aspectos que afetem esse estudo. Tais aspectos são então representados no modelo do sistema, e este modelo, por definição, é uma simplificação do sistema real, contudo o modelo deve permitir conclusões válidas sobre o sistema real [5] [16] [111] [112] [119] [120].

Nesse contexto, o comportamento de um sistema é estudado através de um modelo de simulação, e este, uma vez desenvolvido e validado, pode ser usado para a investigação e análise de uma grande variedade de questões, assim como propor melhorias. Além disso, mudanças no sistema podem ser simuladas a fim de prever seu impacto no seu desempenho. A simulação também é utilizada para estudar sistemas ainda em fase de concepção, antes que sejam efetivamente implementados, minimizando custos [5] [16] [111] [113] [119] [120].

2.2 Simulação de Eventos Discretos (DES)

As simulações computacionais são fortes ferramentas que apoiam o melhor conhecimento e aprendizado de como um sistema de telecomunicação está operando. Um sistema pode ser definido como um conjunto de entidades que se interagem para a realização de uma operação [5] [25].

No ambiente de simulação, o designer tem a flexibilidade de implementar diferentes tipos de arquitetura no sistema para analisar diferentes camadas, tais como: física, transporte, transmissão e camadas superiores, melhorando e validando o sistema para diferentes tipos de aplicações [1] [2] [9] [14] [15] [16]. Por exemplo, a transmissão em um sistema broadcasting, seja ela um conteúdo de áudio ou vídeo, ou outras mensagens para uma audiência através de qualquer meio eletrônico de comunicação em massa, tal transmissão é baseada em sinais contínuos e discretos [1] [3] [4] [5] [6] [7] [17] [18].

O termo evento discreto, entretanto, é usado principalmente para a modelagem de um sistema que está sendo analisado como uma sequência de operações que estão sendo realizadas por entidades (transações) de certos tipos, tais como: um pacote de dados, bits, etc [26] [27] [28] [29] [33] [34] [35] [43].

A metodologia DES (*Discrete Event Simulation*) modela um sistema conforme sua evolução ao longo do tempo, representando as mudanças instantâneas de suas variáveis de estado em pontos separados no tempo, correspondente à visão do fluxo de entidades. São atualizadas com as mudanças de estado ocorrendo em pontos discretos do tempo, interpretando e analisando o sistema sobre a perspectiva de eventos discretos [3] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [43].

Os conceitos fundamentais de DES são entidades, atributos, eventos, recursos, filas e tempo. O tempo é um componente fundamental da metodologia, porque o seu tratamento permite a utilização dos dados para que descrevam o tempo para cada evento, sendo tanto o instante em que estes eventos ocorrem quanto sua duração, particularmente, se eles mudam ao longo do tempo [30] [31] [32] [33] [38] [39] [40].

DES é mais focada em processos parciais, podendo modelar processos tanto contínuos como discretos, porém, é mais adequada para a modelagem de processos discretos e mais apropriada quando o sistema se altera significativamente quando uma variável específica atinja certo nível limiar. Como por exemplo, uma linha de produção ou *call center*, onde ambos têm um pico de produção ou rendimento, naturalmente sendo uma variável específica em seu contexto; assim como em um sistema industrial modelado com DES reagindo de maneira gradual, como no caso de um sistema hidráulico industrial, ao se controlar o limite de pressão máxima de uma válvula [22] [23] [24] [38] [39] [40].

DES é uma técnica com propriedades para modelar um sistema físico com mudanças em pontos precisos no tempo, onde tanto a natureza da mudança de estado como o tempo em que a alteração ocorre exigem essa precisão, descrevendo o comportamento de um sistema como uma série de eventos bem definidos e ordenados, funcionando bem em praticamente qualquer processo onde há variabilidade. A partir de suas características, essa técnica torna-se apropriada e adequada para diferentes tipos de sistemas e diferentes tipos de problemas [26] [27] [28] [34] [35] [36] [39] [40] [43].

Em princípio, um sistema de telecomunicações se encaixa também nessa caracterização, como exemplo, pode-se modelar um pacote (evento) sendo transmitido (fluindo) desde seu nó origem (entrada) até o seu nó destino (saída).

Essa técnica é geralmente usada para modelar sistemas de saúde, como pacientes em um hospital, assim como frequentemente utilizada em sistemas de engenharia de controle, no fluxo de veículos em uma rodovia, processos em empresa de manufatura, e clientes em uma fila. É também utilizada em sistemas de telecomunicações na camada de transporte, quanto a taxas de transmissão e retransmissão em nós, configurações do tamanho do *buffer*, verificação e controle de perda de mensagens, estudos e análises em sistemas com servidores de e-mails, a transmissão de pacotes de dados em sistemas de telecomunicações, entre outros [2] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [20] [21] [41] [42].

2.2.1 Eventos

Eventos discretos são resultados das ações que ocorrem no sistema, uma ocorrência que altera o seu estado, onde essas ações podem ser intencionais, de ocorrência espontânea controlada ou com a verificação de uma condição, e geralmente produzem mudanças de estado em intervalos de tempo aleatórios [3] [28] [29] [33] [34] [35].

O universo das ações que proporcionam os eventos é subjetivo e depende da capacidade que o "modelador/designer" tem de conseguir abstrair os eventos do universo/sistema que está sendo modelado. Confirmando empiricamente, a necessidade de utilização do evento no seu modelo de paradigma. No caso deste trabalho, aplicando e mostrando o uso de eventos discretos em um sistema de telecomunicação e suas vantagens [32] [33] [38] [39].

Um sistema modelado com eventos discretos é definido segundo sua evolução dependendo da ocorrência de eventos. Para tal, é necessário que ações existam, ocorram, e que estas, por sua vez, gerem eventos. Sistemas desse tipo somente mudam de estado quando ocorre um evento. Se não ocorrer nenhum evento, o sistema permanecerá no mesmo estado [28] [29] [33].

Esta lógica pode ser observada na Figura 1, onde de e1 até e4 estão relacionados quanto aos estados do sistema, de X1 até X5 são os eventos propriamente ditos, e de t1 até t4 são os tempos em que ocorreram esses eventos [27] [28] [34].

Assim, dessa forma, o gráfico da Figura 1 explica a interação entre os eventos e o estado do sistema ao longo do tempo, onde os eventos {e1, e2, e3, e4} dependem das ações, essas por

sua vez, provocam as mudanças de estados $\{X1, X2, X3, X4, X5\}$ causando assim uma evolução dos estados no tempo $\{t1, t2, t3, t4\}$ corrido [35] [36] [39] [40] [43].

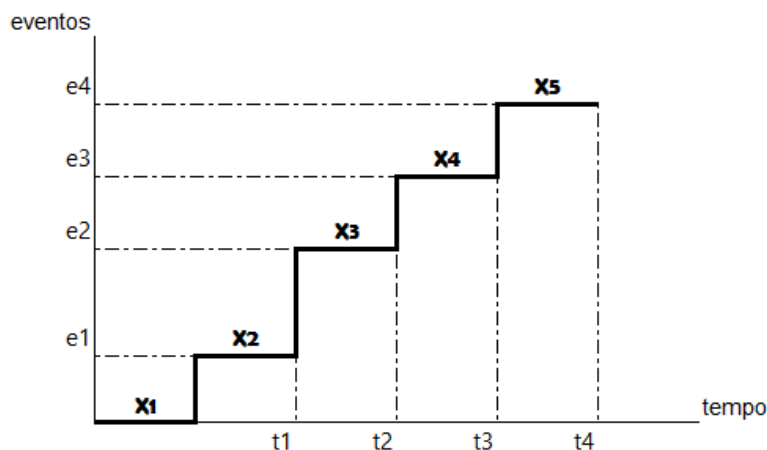


Figura 1 – Gráfico eventos DES

Existe também uma relação entre a sequência dos eventos com os componentes utilizados na modelagem, respeitando o princípio de funcionamento de cada componente e a sua função na aplicação e no sistema modelado.

2.2.2 Entidades

As entidades são itens discretos de interesse em uma simulação de eventos discretos, o significado de uma entidade depende do que está sendo modelado e o tipo do sistema. Podem ter atributos que afetam a maneira como os eventos são tratados ou podem mudar à medida que a entidade flui através do processo, modelada com a biblioteca *SimEvents*[®], do *software Matlab*[®] [5] [19].

As entidades são diferentes dos eventos, pois os eventos são incidentes discretos instantâneos que alteram uma variável de estado, uma saída e/ou a ocorrência vinda de outro evento. O significado de uma entidade depende do que se está modelando e o tipo de sistema, no caso deste trabalho, o bit em um sistema de telecomunicação [19].

A característica de um sinal de evento discreto indica que algo (por exemplo, um acidente, um terremoto, uma falha, um controle, uma pessoa, uma batida de coração, ou qualquer outro conceito desejável dentro de um sistema) ocorreu. Por sua vez, um evento é

uma notação conceitual que denota uma mudança de estado em um sistema. A modelagem de eventos discretos permite executar mudanças discretas dentro de um sistema.

2.3 Canal AWGN

Um sistema de telecomunicação inclui um transmissor para enviar informação e convertê-la em um sinal, um meio de transmissão para transportar este sinal e um receptor recebendo o mesmo, e o convertendo novamente em informação útil, essa lógica aplica-se a qualquer sistema de comunicação [6] [7].

O canal de comunicação é o meio que fornece a conexão física entre transmissores e receptores em um sistema de comunicação, seja como um fio, ou para uma conexão lógica em um meio multiplexado, como um canal de rádio em redes de telecomunicações e computadores. Transportando dados e usando normalmente dois tipos de mídia: física (cabo de par trançado, cabo e cabo de fibra óptica) e eletromagnética (microondas, satélite, rádio e infravermelho) [6] [7] [8] [17] [18].

Assim, para a análise dos sistemas de comunicação, é importante construir modelos matemáticos que descrevam as principais características desses meios e as mudanças que eles fazem aos sinais transmitidos por eles [6] [7].

Um modelo amplamente utilizado devido ao seu tratamento matemático, e que se aplica a um grande conjunto de canais físicos, é o modelo de canal com ruído gaussiano aditivo branco (AWGN) que introduz nos sinais transmitidos um ruído modelado estatisticamente como um processo aditivo gaussiano branco [1] [4] [6] [7] [8] [44].

2.4 Canal de Comunicação Móvel

O canal móvel *wireless* é susceptível a uma série de impedimentos incluindo multipercursos, desvanecimentos, sombreamentos, ruídos, entre outras interferências, de tal forma que tais deficiências podem causar uma enorme degradação no desempenho do sistema [6] [7] [8].

Também chamado canal de comunicação de rádio móvel, MRCC (*Mobile-Radio Communication Channel*), este pode ser definido com relação às variações sofridas pelo sinal, em dois casos:

- variações de larga escala;
- variações de pequena escala.

As variações no sinal recebido que só são notadas se observadas em grande escala, ou seja, para longas distâncias ou longos períodos de tempo, são chamadas de larga escala.

Assim como o incremento ou decremento da distância entre a unidade base e unidade móvel, é chamado de termo longo e a sua variação é denominada perda no percurso, variando linearmente, em dB, com a distância e com a frequência da sua propagação [1] [4] [6] [7] [8].

Os principais efeitos do desvanecimento de larga escala são as perdas de potência do sinal no espaço livre e o sombreamento do sinal por obstáculos, este último afetando o sinal devido às não uniformidades no terreno, construções, veículos, presença de árvores entre outros [6] [7] [8].

Já as variações de pequena escala são aquelas observadas sobre uma distância de poucos comprimentos de onda, também chamado de termo curto, ou desvanecimento rápido [1] [4] [6] [7] [8].

A distribuição Rician é o que melhor representa o comportamento do desvanecimento para esse tipo de variação na presença de linha de visada [1] [4] [6] [7] [8].

Dessa forma, quando há uma componente de onda incidindo sobre o canal móvel, de maneira direta ou por reflexão, estando com uma potência significativamente maior que as demais, então este sinal dominante no receptor terá uma envoltória com distribuição Rician [1] [4] [6] [7] [8] [17].

E quando não existe esta linha de visada, o comportamento desse desvanecimento rápido é melhor representado pela distribuição Rayleigh [6] [7] [8] [17] [18].

O desvanecimento de Rayleigh é considerado, como um modelo razoável e ideal para ambientes urbanos fortemente construídos para sinais de rádio com propagação de sinais em um meio onde não há propagação dominante ao longo de uma linha de visada entre o transmissor e o receptor [8].

Enfim, seja tais distribuições descritas são usadas para melhor descrever o nível do sinal recebido, este afetado por um canal com desvanecimento, como também em função da sua variação temporal, e/ou a amplitude de suas componentes de multipercursos individuais [6] [7] [8] [17] [18].

Geralmente redes wireless diferem principalmente em sua camada física, onde na transmissão de dados são utilizadas ondas eletromagnéticas que se propagam através do espaço, onde são refletidas, dispersas, atenuadas, entre outras interferências. Assim, para este

tipo de transmissão é necessária uma eficiente modulação de dados de frequência da portadora [1] [4] [6] [7] [8].

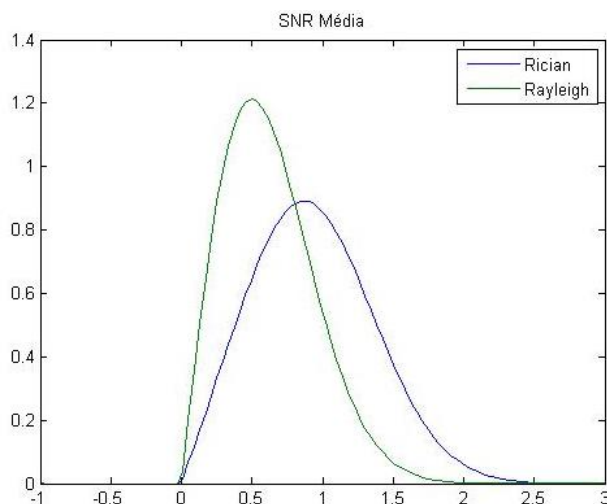


Figura 2 - Distribuições Rayleigh e Rician

Na Figura 2 (acima) é dado um exemplo das distribuições Rician e Rayleigh de forma comparativa para melhor visualização, segundo código feito pelo autor para tal finalidade.

2.5 DPSK vs PSK

A DPSK (Differential Phase Shift Keying) é um esquema de modulação que facilita a demodulação não coerente, onde diferente da PSK (Phase Shift Keying), que geralmente requer apenas uma demodulação coerente. Esta demodulação coerente está relacionada a portadora que é modulada para obtenção do sinal na banda passante, tendo que ser reproduzido no receptor, e do mesmo modo, usado para demodulação na banda passante para obter a mensagem [4] [6] [7] [8] [17] [18].

Esse modo pode se tornar complicado, devido na maioria das vezes, a frequência desta portadora no sinal recebido se desviar do original, devido a efeitos Doppler entre outros. Assim ao usar a mesma frequência portadora que o sinal transmitido, resultará em um sinal demodulado ruidoso, ocasionando no receptor um processo trabalhoso e difícil de gerar a portadora recebida [4] [6] [7] [8] [17] [18].

Na DPSK é oferecida uma saída, onde se modifica as transmissões para que cada sinal transmitido também dependa do anterior, ao que para realização a demodulação do sinal atual, o sinal recebido no período de tempo anterior pode ser usado como portadora local. Pois como

os desvios de frequência são tipicamente iguais durante o instante de tempo atual e anterior, eles se cancelam e o sinal pode ser demodulado. Logo, a fase desse sinal modulado é deslocada em relação ao elemento de fase do sinal anterior [4] [6] [7] [8] [17] [18].

2.5.1 Modulação DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*)

A modulação DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) é uma forma particular da modulação QPSK, na qual ao invés de ser enviado um símbolo correspondente a um parâmetro puro de fase, esse símbolo representa uma variação de fase [1] [4].

Na modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), as informações são transmitidas pela fase absoluta de cada símbolo. Já em DQPSK, cada conjunto de bits representado por um símbolo provoca uma variação de fase determinada no sinal da portadora. Nela os bits respectivos para esses dados símbolos são determinados com base na mudança de fase do símbolo anterior [4] [8].

Dessa forma, existem quatro estados possíveis $0, \pi, +\pi/2, -\pi/2$. Assim, cada símbolo representa dois bits de informação. A divisão do padrão binário é igual a QPSK, exceto que uma cadeia de bits é deslocada em fase acerca de $\pi/4$ ou $\pi/2$ dependendo do sistema [4] [8].

Isso significa que há um total de 8 posições de estado ideal (em comparação com os 4 estados para QPSK). As posições de estado ideais para símbolos alternam entre os quatro estados de 45 graus normalmente usados por QPSK e quatro estados no eixo. Devido a essa alternância, a trajetória ideal entre símbolos nunca atravessa o ponto zero [1] [4] [8].

A Figura 3 mostra o diagrama de constelação DQPSK para a versão deslocada $\pi/4$, a mesma utilizada nesse trabalho.

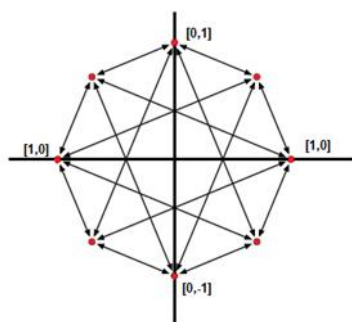


Figura 3 – Constelação DQPSK teórica

Na Figura 3 (acima), também é mostrada a constelação sendo rotacionada em 45° em relação ao ponto anterior, conforme explicado anteriormente. Essa modulação é bastante

utilizada em diversos sistemas de transmissão aérea, em associação com outras técnicas de modulação.

2.5.2 Modulação DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*)

O termo diferencial no formato de modulação, está relacionado na codificação dos dados, sendo pela presença de bit um, bit zero, por similaridade ou pela diferença dos símbolos em relação ao sinal anterior [4] [6] [7] [8] [17] [18].

A modulação DBPSK elimina a ambiguidade de fase e a necessidade de aquisição e rastreamento de fase, resultando em vantagens no custo reduzido de energia. Nesta modulação, é empregada uma maneira não coerente para resolver a necessidade de um sinal de referência coerente no receptor. Assim, a sequência binária de entrada é primeiro codificada diferencialmente e depois modulada usando um modulador BPSK. E, na demodulação, não há necessidade de saber sobre o estado inicial do *bit*, simplificando a sincronização [4] [6] [7] [8] [17] [18].

Em BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), uma fase representa o binário 1 e a outra fase representa o binário 0 e, à medida que o sinal de entrada digital muda de estado, a fase do sinal de saída muda entre dois ângulos separados por 180° [4] [6] [7] [8] [17] [18].

Na Figura 4 é mostrado o diagrama de constelação DBPSK também utilizada nesse trabalho.

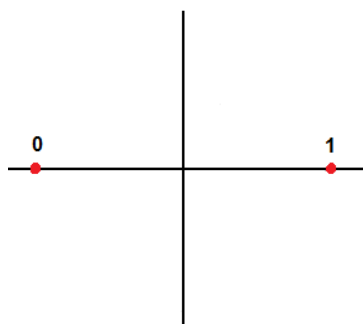


Figura 4 – Constelação DBPSK teórica

2.6 Síntese do Capítulo 2

Nesse capítulo é possível compreender que a simulação é uma ferramenta que permite a avaliação de um sistema de telecomunicações antes da sua implementação real. Dessa forma através de simulações é possível desenvolver alterações e propostas de melhorias nesses sistemas.

Uma das formas de ruído mais utilizadas para se modelar em um sistema de transmissão é o ruído branco aditivo e gaussiano (AWGN), pois esse é um ruído estatisticamente aleatório caracterizado por uma faixa de frequência ampla com relação a um sinal em um canal de comunicação.

A distribuição de Rayleigh é utilizada para descrever o nível do sinal recebido (afetado por um canal com desvanecimento plano) em função da variação temporal, ou a amplitude das componentes de multipercursos individuais. Onde Rayleigh é utilizada quando não há linha de visada (LOS - *Line of Sight*) entre o transmissor e o receptor.

A modulação DQPSK é uma técnica de modulação derivada do QPSK, sendo um formato de modulação avançado, onde também são utilizados parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação. Diferenciando que agora existem mais tipos possíveis de símbolos nessa constelação, permitindo a transmissão de mais bits por símbolos.

A principal característica da metodologia DES são os eventos e as entidades, sendo as mudanças ocorrendo por meio dos eventos. A construção do modelo envolve a identificação e representação dessas entidades, seu fluxo e a lógica da modelagem. As variáveis de estado são modificadas apenas pela ocorrência de eventos. Os eventos ocorrem instantaneamente em pontos separados no tempo, sendo simulados de forma eficiente.

DES é uma técnica com as propriedades para modelar um sistema físico que tem alterações em pontos precisos no tempo, ou seja, com espaço de estados discreto, cuja evolução de estado dependa inteiramente da ocorrência assíncrona de eventos, descrevendo o comportamento de um sistema como uma série de eventos bem definidos e ordenados, funcionando bem em praticamente qualquer processo em que existe uma variabilidade.

Assim foi possível entender e visualizar que a técnica de modelagem de eventos discretos é geralmente utilizada para modelar conceitos com um alto nível de abstração, como também ela se encaixa na temática de telecomunicações, como brevemente destacados nesse capítulo, onde os principais fatores responsáveis pelo bom desempenho dessa modelagem são: tempo e consumo de memória.

Dessa maneira com a simulação é possível visualizar as informações de diagnóstico do sistema modelado, em especial dois parâmetros foram escolhidos como critérios de avaliação, o consumo de memória onde é examinada a memória utilizada em cada fase de compilação do

modelo, gerando um consumo total em MB e o tempo de simulação, podendo ser estimado em segundos, onde todos esses resultados são apresentados no capítulo 5 mais adiante.

No capítulo seguinte será proporcionado um mergulho mais profundo na utilização da técnica de “eventos discretos” em diversas áreas de atuação e conhecimento, assim como apresentando a sua grande aplicação telecomunicações.

3 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste capítulo foi realizada uma pesquisa e revisão da literatura, onde foram analisadas 112 publicações científicas cobrindo as últimas duas décadas. O objetivo foi visualizar o uso e aplicação da metodologia de eventos discretos dentro desse passado recente.

3.1 MATLAB e Simulink

Em 1984, foi criada MathWorks, hoje retendo os direitos do *software Matlab*[®], sendo hoje um ambiente de computação técnica completo, o qual começou como um simples "*Matrix Laboratory*" em 1970. Sendo atualmente usado por milhões de engenheiros e cientistas de todo o mundo para analisar e projetar sistemas e produtos que transformam, reinventam e atualizam o nosso mundo do ponto de vista tecnológico.

O MATLAB[®] está em sistemas de segurança ativos de automóveis, naves espaciais interplanetárias, dispositivos de monitoramento de saúde, redes elétricas inteligentes, redes celulares LTE (*Long Term Evolution*), sistemas de telecomunicações, na engenharia, entre muitos outros. É utilizado para aprendizagem de máquinas, processamento de sinal, processamento de imagem, visão computacional, comunicação, finanças computacionais, *design* de controle, robótica e muito mais [96] [97] [98].

Em 1990, foi introduzido no *software Matlab*[®], o *Simulink*[®], sendo um ambiente de diagrama de blocos para a simulação de vários domínios, que suporta o design do sistema para modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. Sofreu sua atualização mais considerável em 2012, onde o novo editor do *Simulink*[®] e o editor *Stateflow*, representaram a maior atualização de experiência do usuário desde que foi introduzido.

O *Simulink*[®] fornece um editor gráfico, bibliotecas de blocos personalizáveis e solucionadores para modelagem e simulação de sistemas dinâmicos e discretos. Está integrado com *Matlab*[®], permitindo a incorporação de algoritmos *Matlab*[®] em modelos e exporte resultados de simulação para *Matlab*[®] para análise posterior. A vantagem do *Simulink*[®] comparado com o *Matlab*[®] nasce na facilidade de usar, por exemplo, o programa pode ser "executado" pelo *Matlab*[®], em apenas um conjunto de linhas [97] [98].

3.2 SimEvents

Segundo [121], de 2006, foi utilizado a SimEvents, sendo uma ferramenta de modelagem e simulação baseada em eventos discretos, auxiliando no *design* do microcontrolador de conscientização de energia. Dessa maneira foi proposto um controlador DVS (*Dynamic Voltage Scaling*) baseado em estimativa de gradiente *online*. Os modelos de simulação foram construídos em *SimEvents*, provando a eficácia do esquema de controle.

Conforme [122], de 2007, foi publicado em anais internacionais no campo da simulação de sistemas de eventos discretos, a *SimEvents*, possuindo vários recursos desejáveis para sistemas com essas características. Como qualquer biblioteca ainda há a necessidade de alguns ajustes em algumas áreas. Mas a *SimEvents* é particularmente útil para usuários de Matlab e *Simulink* que procuram construir sistemas híbridos complexos de processamento discreto/contínuo.

Segundo [123], de 2007, foi publicado um método de geração de política de controle baseado em estado no nível estratégico em uma operação aérea, visando maximizar a probabilidade vencedora de “*Blue Force*”. Um modelo genérico foi usado para explicar os aspectos de modelagem, controle de projeto e implementação. Mais especificamente, um problema de controle bilateral bilíngue definido em uma probabilidade simplex é formulado e resolvido aproximadamente usando um esquema de controle de horizonte recuado. A política de controle também é implementada on-line em um circuito fechado (*closed-loop*) onde esta operação aérea é simulada com *SimEvents* como um processo estocástico. Uma percentagem de vitórias significativamente melhorada é resultado do encerramento deste circuito fechado no nível estratégico, onde as atividades de planejamento são tradicionalmente realizadas em circuito aberto (*open-loop*).

Conforme [124], de 2008, foi desenvolvido com *SimEvents*, uma ferramenta de simulação baseada em modelo, e sua aplicação em simulação de rede. O modelo de um algoritmo de gerenciamento de fila ativo (WRED - *Weighted Random Early Detection*) é construído. Em seguida, foi proposta a aplicação de *SimEvents* no sistema de controle em rede (NCS - *Network Control System*). As simulações mostram que *SimEvents* é uma ferramenta de simulação efetiva para rede

Segundo [125], de 2008, o sistema de comunicação CAN foi estabelecido usando *SimEvents*, onde índices de desempenho do sistema de barramento CAN, que abrangem o tempo de resposta do pior caso de mensagens e carga do barramento, foram obtidos

separadamente por cálculos teóricos, experimentos em *Matlab* e *CANoe*. Estes resultados do cálculo e do experimento foram suficientemente comparados e concluíram que o sistema de barramento CAN estabelecido no *Matlab/Simulink* pode representar eficientemente as seqüências de transferência de mensagens no barramento CAN e também obteve um resultado exato da análise de desempenho do sistema.

Conforme [126], de 2009, foi avaliado que qualquer sistema durante o seu ciclo de vida pode estar sujeito a ameaças acidentais ou maliciosas internas ou externas. Portanto, a atenção à segurança do sistema é muito importante. A segurança traz preocupações quanto à disponibilidade, além de confidencialidade e integridade. Muitas metodologias de avaliação de segurança como ITSEC, CC entre outras, foram usadas até a época, mas a maioria delas apresentam algumas limitações para serem usadas na fase de design dos sistemas. Esse artigo, foi apresentada a simulação de um sistema de rede para avaliação de segurança quantitativa (QSE - *Quantitative Security Evaluation*) com base em simulação de evento discreto (DES) por *SimEvents*.

Segundo [127], de 2010, faz referência à possibilidade de utilização da modelagem de um sentido do sistema de fabricação como um sistema de eventos discretos pela otimização de um cronograma de trabalho. Usando ferramentas de *software*, foi possível a criação de um modelo, que permitiu a simulação do comportamento do sistema em vários parâmetros. O exemplo do modelo de sistema de fabricação foi criado pela *SimEvents*.

Segundo [128], de 2010, foi apresentada uma referência de personalização orientada para WSN (*Wireless Sensor Network*) de uma estrutura de modelagem existente na qual o designer pode criar componentes de rede em cada camada da pilha de protocolo OSI (*Open Systems Interconnection*), considerando detalhes sobre camada física e meio de comunicação, trocar facilmente a configuração WSN, simular a análise de vários parâmetros e gerar código para diferentes plataformas alvo, tanto em hardware quanto software, sendo implementado com *SimEvents*.

Conforme [129], de 2011, foi estudado o transporte de material sendo um dos aspectos mais importantes das operações de minas a céu aberto. O problema geralmente envolve um sistema de despacho de caminhão em que as decisões sobre atribuições e destinos de caminhões são tomadas em tempo real. Assim foi apresentada uma abordagem de agente único dependente com base em processos de decisão Markov dependentes do tempo (TiMDPs - *Time-dependent Markov Decision Processes*) para modelar o problema de despacho do caminhão em um exemplo de mina. A incerteza está presente no modelo como seleções de caminho estocástico

pelo motorista do caminhão. As simulações são executadas usando o *SimEvents*, e os resultados comparados a outras heurísticas de despacho comumente usadas na indústria de mineração mostram a superioridade da abordagem proposta.

De acordo com [45], de 2012, perceberam que a complexidade dos sistemas modernos industriais, muitas vezes cria limitações para otimização em um sentido matemático devido a sua dinâmica. Com essa ótica, foi criado um modelo híbrido de eventos discretos com *SimEvents*, que simulava um processo químico de produção em lote com recursos compartilhados que processava dois tipos de pedidos. Para isso, a simulação computacional foi combinada com a otimização da computação gerando ganhos no desempenho do processo, demonstrando que vários modelos podem ser implementados e combinados usando um domínio semântico unificador na forma de um trabalho de execução abstrato, integrando comportamentos contínuos e discretos.

Conforme [130], de 2013, foi proposto uma estratégia de balanceamento de carga baseada em preferências como um agendamento de ajuda em um ambulatório de um sistema de consulta médica on-line. Os objetivos de desempenho foram maximizar e minimizar o tempo de espera. Os pacientes forneceram um conjunto padrão de preferências antes de programar uma consulta. As preferências são classificadas em uma escala e cada solicitação de serviço terá uma pontuação de preferência respectiva. Os médicos disponíveis também serão classificados com base em seus conhecimentos clínicos e a natureza do diagnóstico passado e os tipos de pacientes consultados. As pontuações de preferências foram então mapeadas em cada especialidade e o compromisso foi agendado. O esquema proposto foi modelado como um sistema de filas em *Matlab*. A biblioteca *SimEvents* foi utilizada para a construção do modelo. O desempenho foi analisado com base no tempo médio de espera e na utilização. Os resultados revelaram que o esquema de balanceamento de carga baseado em preferências reduz significativamente o tempo de espera e melhora significativamente a utilização sob diferentes condições de carga.

De acordo com [131], de 2013, foi estudado as redes *ad-hoc multi-hop* com topologias de cadeia e cruzadas revelaram-se uma excelente solução para redes de computadores de baixo custo. Ela fornece uma rede rápida e fácil em todos os ambientes. E dessa maneira, foi sugerido um modelo de rede *ad-hoc multi-hop*, e um novo modelo de rede *ad-hoc* sem fio *multi-hop* com cadeia e topologias cruzadas projetado usando *SimEvents*, levando em consideração o efeito da disputa processo e perdas na camada MAC. Finalmente, um algoritmo de camadas transversais chamado algoritmo *TCP Contention Control* (TCC) é aplicado ao modelo proposto usando ferramentas *SimEvents* para melhorar o desempenho da produção. Os

resultados mostraram que a porcentagem de *throughput* melhorada da cadeia e as topologias cruzadas foram iguais a 33,5% e 49% respectivamente.

Segundo [132], de 2013, foi estudado o *throughput* de um sistema de comunicação *ReQuest* (ARQ - *Automatic Repeat reQuest*) *Stop-and-Wait* (SW) sendo analisado em conjunto com um esquema de codificação de rede prática (NC). Em particular, o estudo teve como objetivo comparar o *throughput* do sistema SW com e sem NC no contexto de um *link* de comunicação predeterminado. Para avaliar os efeitos do esquema proposto, um estudo de simulação foi realizado utilizando a ferramenta *Matlab SimEvents*. Os resultados mostraram que o NC prático oferece uma vantagem de *throughput* de pelo menos 50% em relação ao SWARQ tradicional e que isso foi particularmente notável na presença de altas taxas de erro.

De acordo com [133], de 2013, foi estudado que a codificação de rede pode influenciar muito o desempenho dos esquemas de controle de fluxo. Nesse trabalho, o processamento de uma solicitação de repetição automática de repetição seletiva de fim a fim (*end-to-end*) (SR) (ARQ) de um *link* de comunicação intermediário foi investigado com base na técnica de codificação de rede (NC). Através do *Matlab SimEvents* do *Simulink*, foi mostrado que o desempenho da *throughput* foi sensível a uma série de links de entrada do nó e a largura de banda disponível no qual o canal estava funcionando. O desempenho foi estudado como uma função relativa a proporção do tempo de propagação para o tempo de transmissão de pacotes. Para um *unicast* sem erros de baixa largura de banda, NC mostrou uma melhora de *throughput* entre 100% e 400%, quando esta é alta 1% e 5% para um valor baixo, dependendo do número de *links* do nó entrante.

Segundo [134], de 2013, foi estudado que o protocolo *Stop-and-Wait*, o qual é um dos principais mecanismos de controle de erros de fluxo que permitem às entidades de destino regular o fluxo de pacotes enviados por entidades de origem. Em modelagem e simulação formam alguns dos tópicos mais importantes no campo da comunicação, com o objetivo de analisar e fornecer plataformas que incorporem operações do sistema do mundo real. A biblioteca *SimEvents* emergiu como uma ferramenta promissora para fins de simulação geral em redes de comunicação. Um protocolo de controle de erro, *Stop-and-Wait* (SW), foi modelado e simulado para demonstrar a eficiência de *SimEvents*. Com a possibilidade da construção de uma nova unidade de controle para gerenciar o fluxo de pacotes para SW ARQ, o desempenho de um protocolo SW foi avaliado com precisão em diferentes cenários. Os resultados mostram que o *SimEvents* fornece uma ferramenta extremamente útil para iluminar

muitos aspectos do desempenho da rede, como filas, throughput e atraso. A biblioteca é uma adição extremamente útil à avaliação do desempenho das redes de comunicação.

Segundo [149], de 2013, foi estudado o processamento de fluxo de informação em tempo real em nuvem, a qual estava ganhando atenção significativa por sua capacidade de extrair grandes quantidades de dados para uma variedade de aplicações, como missões de reconhecimento ou operações de busca e salvamento. Em aplicativos de transmissão em tempo real baseados em nuvem, mecanismos de gerenciamento de recursos dinâmicos são necessários para suportar os requisitos em tempo real dessas aplicações. Dessa maneira, o artigo apresentou uma abordagem de análise de desempenho orientada por modelo de eventos discretos com *SimEvents* para aplicativos de transmissão em tempo real para identificar suas propriedades controláveis. A mesma estrutura de modelagem faz as decisões de planejamento de implantação, que é uma dimensão de gerenciamento de recursos dinâmicos.

Segundo [135], de 2014, esse artigo teve o intuito de fornecer acesso automatizado de um modelo de sistema formal a ferramentas de análise múltipla, como simulação ou otimização de eventos discretos, foram estudadas as metodologias atuais de engenharia de sistemas baseadas em modelos (MBSE - *Model-Based Systems Engineering*), e introduzindo um novo modelo para modelar o método de transformação com base em padrões de criação orientados a objetos do *design* de *software*. Implementado na ferramenta de simulação de eventos discretos do *Matlab*, *SimEvents*, foi demonstrado a metodologia gerando dois casos de uso distintos baseados em uma cadeia de suprimentos de distribuição e sistema de fabricação.

Conforme [136], de 2014, foi avaliado o alto custo de automação como um dos principais desafios para fazer frente à variação nas demandas dos clientes, tanto em termos de diversidade e quantidade de produtos. Os sistemas de produção evoluíveis (EPS) são uma das abordagens que visam esse desafio, pois fornece recursos como auto-configuração e adaptabilidade. O estudo visou principalmente a exploração de ferramentas e métodos para conceitos similares de outros domínios de engenharia como um passo em direção a uma metodologia bem definida para o EPS. Em particular, o *SimEvents* é avaliado como uma ferramenta para analisar o EPS a partir de um ponto de vista de controle. O principal contributo deste artigo são as diretrizes para a modelagem de um EPS usando *Simulink/SimEvents*. Essas diretrizes, no futuro, podem servir de base para uma metodologia que incorpora a geração automática de modelos e uma plataforma para verificação e validação de diferentes algoritmos relacionados ao EPS. O trabalho é validado e demonstrado por um estudo de caso preliminar.

Segundo [137], de 2014, este estudo teve como objetivo demonstrar uma abordagem de modelagem de otimização de simulação para examinar a eficiência de um modelo matemático na otimização da modelagem de cadeia de suprimento do consumidor *multi-commodities* (MCCSC). A simulação foi uma das ferramentas mais usadas na validação do modelo. Permitindo os comportamentos do sistema de identificação em diferentes circunstâncias. Para este fim, um modelo de simulação de sistema de cadeia de suprimentos foi desenvolvido no contexto da tomada de decisão de produção-distribuição (P-D). Além disso, levando em consideração restrições da vida real, um estudo de caso MCCSC integrado foi criado para prever as consequências de mudanças de variáveis. O desempenho do modelo foi então avaliado usando *SimEvents* em conjunto com o *Simulink* do *Matlab*. Finalmente, os algoritmos genéticos foram utilizados para minimizar o custo total de todo o sistema.

Conforme [138], de 2014, foi analisado que o desempenho de codificação de rede (NC), na época estava se tornando uma questão cada vez mais importante nos sistemas de comunicação de dados. Isso é devido ao seu sucesso na obtenção da capacidade min-cut das redes de multidifusão (multicast), levando à melhoria do throughput nos nós de destino. Nesse artigo, foi analisado o comportamento de um sistema de filas M/D/1 sob um cenário síncrono baseado em NC; com *SimEvents* um nó intermediário representado por uma fila *First-In-First-Out* (FIFO) e um único servidor está configurado para que ele receba pacotes combinados e codificados de dois fluxos. A função de densidade de probabilidade (PDF) para os pacotes codificados é derivada. Os resultados analíticos mostram que o pdf derivado dos pacotes codificados segue uma distribuição geral aleatória e são apresentadas simulações extensivas para verificar a distribuição construída. Além disso, as medições do tempo médio de espera e da utilização do servidor para pacotes mesclados e codificados na fila FIFO foram comparadas.

Conforme [139], de 2015, foi avaliado que planejar e avaliar uma rede em *chip* (NoC - *Network on Chip*) para uma aplicação específica geralmente é uma tarefa complexa que requer a colaboração de especialistas em hardware e software. Prever o desempenho da arquitetura e da solução planejada é de natureza difícil e demorado. Assim foi apresentado um modelo de alto nível para noCs baseados em roteadores de cinco portas usando *SimEvents* do *Matlab*. O modelo apresentado foi usado para construir uma malha NoC de 4 x 4 e avaliou as métricas de desempenho usuais, como latência e *throughput*.

Segundo [140], de 2015, foi analisado que as redes de sensores são pequenos dispositivos independentes, que se caracterizam pela limitação da bateria, do poder de processamento e da memória de armazenamento, o que torna a economia de consumo de

energia um desafio real. Mas, existem muitas técnicas usadas para conservar energia em redes de sensores sem fio (WSNs), a técnica de *clustering* é uma delas. Em termos de segurança, as WSNs são mais vulneráveis aos ataques do que as redes com fio. No entanto, as frequências de rádio usadas nas WSNs estão abertas, tornando a espionagem bastante fácil. Ao considerar o consumo de energia e para prevenir ataques de denegação de serviço (DoS), esse estudo apresentou uma abordagem preventiva de ataques DoS que se baseia no uso de técnicas de agrupamento, implementada com *SimEvents*.

Segundo [141], de 2015, a exploração inicial do espaço de *design* demonstrou ser um fator importante na redução do tempo de desenvolvimento da rede em *chips*. Nesse artigo, foi apresentado uma caixa de ferramentas para o *Matlab* voltada para a exploração do espaço de *design* inicial para o *design* do roteador NoC. Essa caixa de ferramentas é baseada na biblioteca *SimEvents* de simulação de evento discreto. A caixa de ferramentas apresentada pode ser usada para projetar graficamente roteadores e medir seus desempenhos (*throughput*, latência, etc.). Uma prova do conceito de *design* de um roteador 3D NoC usando essa *toolbox* também foi apresentada.

Segundo [142], de 2015, foi estudado que a transição de redes em *chips* 2D para 3D recentemente ganhou impulso com o esforço de pesquisa voltado para resolver os diferentes problemas de implementação. O planejamento e a exploração espacial de *design* para 3D NoCs, intuitivamente mais difíceis do que para 2D NoCs, requer ferramentas de simulação mais flexíveis e poderosas. Nesse artigo, foi apresentado a simulação de um modelo de uma malha 4 x 4 x 3 3D NoC usando *SimEvents*, uma simulação de evento discreto acessível através do *Simulink*. O desempenho de todo o NoC foi medido para toda a rede, para os nós do lado, canto e meio.

De acordo com [150], de 2015, foi estudado o desenvolvimento de sistemas complexos distribuídos ou altamente concorrentes, os atrasos de programação e comunicação os quais impactar no comportamento do controle desses sistemas. Foi apresentado uma estrutura para adicionar um modelo de agendadores, tarefas e mensagens aos modelos *Simulink* e *SimEvents* para verificar, por simulação, o impacto dos tempos de agendamento e execução nos atrasos no desempenho dos controles.

De acordo com [143], de 2016, foi estudado uma configuração de rodovia, onde um veículo provavelmente usaria um servidor de pedágio que tivesse a fila mais curta pensando que fosse a saída mais rápida. Propondo um seletor de fila para um servidor rodoviário inteligente usando lógica difusa e simulado no *Matlab SimEvents*. O objetivo foi selecionar

automaticamente o servidor de ligação de linha mais adequado para um veículo para garantir o menor tempo de espera enquanto tenta equilibrar a utilização do servidor.

Segundo [144], de 2016, foram apresentados os resultados de uma co-simulação *Matlab/Simulink* de uma rede de distribuição elétrica contendo duas fontes renováveis em interação com sua rede de comunicação. A comunicação entre diferentes nós, tem como base no protocolo IEC 61850 GOOSE, cujo modelo de simulação incorpora suas diferentes características de eficiência e confiabilidade. A rede de comunicação e a rede elétrica são modeladas usando *SimEvents* e *SimPowerSystems*, respectivamente. Enquanto a informação para executar o controle descentralizado de potência reativa é fluído sobre eles e examinada.

De acordo com [145], de 2016, foi analisado a estabilidade do NCS (sistema de controle em rede) com um controlador PID discreto por evento, sob a condição de jitter e perda de dados com base no método de promoção, fazendo analogia com a situação de que cada link do circuito de controle é dirigido pelo tempo, e derivado o critério de estabilidade correspondente. Em seguida, um simples sistema de controle prático foi definido como um exemplo e algumas ferramentas de simulação do *Matlab*, como *SimEvents* e *xPc-target*, foram usadas para construir modelos e fazer simulações em tempo real. A precisão do critério de estabilidade foi verificada pela análise dos eventuais resultados de simulação garantindo a viabilidade de aplicação prática para NCS com controlador PID.

Segundo [146], de 2016, foi estudada a inovação no campo dos sistemas embarcados automotivos destacando a dependência cada vez maior de funções implementadas por *software*. As leis de controle dessas funções tipicamente assumem taxas de amostragem deterministas e atrasos constantes de entrada para saída. No entanto, nos processadores de destino, os tempos de execução do *software* dependerão de muitos fatores, como o valor de interferências de outras tarefas, resultando em atrasos variados de sensação para atuação. Três abordagens suportadas por ferramentas, como *TrueTime*, *T-Res* e *SimEvents*, foram desenvolvidas para facilitar a avaliação de como as latências de tempo afetam o desempenho do controle. No entanto, essas abordagens suportam a simulação de algoritmos de controle, mas não a sua implementação real. Foi apresentado um mecanismo de interpretação do modelo em um ambiente de co-simulação para estudar os desempenhos de controle, considerando os atrasos em tempo de execução na conta. Os recursos de introspecção nativamente disponíveis facilitaram a implementação de estratégias auto adaptativas e de tolerância a falhas para mitigar e compensar as latências de tempo de execução.

Conforme [147], de 2016, foi estudado que a programação de produção do tipo "*Job-shop*", em manufatura é uma das atividades industriais mais importantes. Para resolver este tipo de problema de agendamento complexo, foram propostas diversas abordagens, incorporando metodologia de simulação de eventos discretos. O objetivo deste trabalho foi otimizar o horário de trabalho no sistema de agendamento de tarefas de eventos discretos modelando e simulando o sistema de fabricação. O exemplo do modelo de sistema de fabricação de máquinas de trabalho multi-máquinas foi criado pela *SimEvents* do *software Matlab*.

Conforme [148], de 2016, foi apresentada uma estrutura de simulação que facilita a definição e composição hierárquica de sistemas de eventos discretos. Essa estrutura permitiu que os modeladores usassem de forma flexível diagramas de blocos gráficos, gráficos de estados e programação orientada a objeto textual *Matlab* para criar sistemas de eventos discretos personalizados específicos de domínio do autor. A estrutura foi realizada em uma implementação que abrange várias ferramentas de simulação de software, incluindo *SimEvents*, *Stateflow*, *Simulink* e *Matlab*.

De acordo com [151], de 2016, foi estudado que os sistemas de controle em tempo real estavam se tornando altamente distribuídos, concorrentes e complexos. O desempenho de componentes arquitetônicos, como agendadores e redes de sistemas operacionais, deve ser considerado ao validar o *design* do controlador. Uma estrutura foi apresentada com base em *Simulink* e *SimEvents* para simular os efeitos da programação de sistemas operacionais *multicore* no contexto de modelos de sistemas de controle. Essa estrutura aproveitava o mecanismo de simulação de evento discreto subjacente ao *SimEvents* e uma nova estrutura desenvolvida pelos autores baseada no *Matlab*.

3.3 Uso da Metodologia de Eventos Discretos

3.3.1 Ano 1994

Foi criada a biblioteca *SimEvents*, fornecendo um mecanismo de simulação de eventos discretos e componentes para o *Simulink*[®], podendo modelar a comunicação baseada em eventos entre componentes para análise e otimização. Com a *SimEvents*, é possível projetar sistemas de controle distribuídos, arquiteturas de *hardware*, redes de sensores e de comunicação para aplicações aeroespaciais, automotivas, eletrônicas, entre outras. Assim como, simular processos conduzidos por eventos [99].

3.3.2 Ano 2000

De acordo com [22], uma pesquisa ilustrou o uso de evento discretos para um estudo de caso de um modelo de simulação no contexto HIV/AIDS, onde foi simulado uma população de homossexuais masculinos, incluindo o recrutamento de novos indivíduos. A pesquisa foi conduzida basicamente por um modelo de "história natural" da progressão da infecção pelo HIV em um indivíduo.

Também incluía uso de recursos e a transmissão do vírus, constituindo um modelo muito detalhado que exigia a estimativa de muitos parâmetros, como progressão clínica, consumo de recursos e infecção de outras pessoas, sendo realizada pelo uso de entidades. Assim como DES foi utilizado na necessidade de acompanhar os indivíduos através do sistema e capturar a considerável variação entre eles, sendo a variabilidade no comportamento sexual conhecida como uma variável crítica que afetava a propagação da epidemia.

Segundo [111], foi publicado um livro que se concentra na integração dos paradigmas contínuos e discretos para modelagem e simulação. Um segundo tema importante é o da simulação distribuída e seu potencial para suportar a coexistência de múltiplos formalismos em múltiplos componentes do modelo. O livro também apresenta um conceito unificador, permitindo que os modelos sejam mapeados de forma transparente na especificação de sistemas de eventos discretos (DEVS). A obra também demonstra como construir simulações computacionalmente eficientes e orientadas a objetos de modelos DEVS em ambientes paralelos e distribuídos.

Conforme [152], de 2000, foi avaliado o desempenho e a otimização de sistemas de eventos discretos propensos a falhas, esta análise foi baseada em um modelo de gráfico de eventos discretos estocásticos fluidos, consistindo de uma rede de Petri sem decisão.

3.3.3 Ano 2001

Segundo [47], foi apresentado o OMNeT++, um pacote de simulação de eventos discretos voltado principalmente para a simulação de redes de computadores e outros sistemas distribuídos. O OMNeT++ foi projetado para suportar a modelagem de redes, podendo executar a simulação sob interface gráfica para o usuário, exibindo gráficos de rede, animações do fluxo de mensagens dentro do modelo.

Segundo [52], foi discutido que o exército é um grande usuário de modelos de simulação de eventos discretos. O uso desses modelos varia de treinamentos e exercícios de uso construtivo em importantes análises militares. Dessa maneira, foram apresentados três estudos de simulação específicos realizados com o Departamento de Ciência Operacional do Instituto de Tecnologia da Força Aérea focado em questões importantes da Força Aérea e do Exército, como o Brawler, sendo esse um modelo usado para análise detalhada do combate aéreo com diferentes perspectivas de alcance visual.

Conforme [73], foi estudado o controle de supervisão descentralizado não-bloqueante de sistemas de eventos discretos. No entanto, um supervisor descentralizado não bloqueante, controlável e normal pode ser ainda desnecessariamente restritivo. O objetivo principal do trabalho foi sintetizar um supervisor descentralizado não-bloqueante mais permissivo.

Segundo [74], foi apresentada uma nova visão sobre a modelagem de uma classe de sistema dinâmico de eventos discretos (DEDS) e um procedimento de síntese de controle correspondente. A classe pode ser descrita por máquinas de estado (SM) - o tipo especial de redes de Petri (PN). A matriz de adjacência de gráficos orientados (OG) é utilizada no procedimento de síntese de controle.

3.3.4 Ano 2002

Segundo [83], os exemplos de problemas de falha de diagnóstico foram investigados para o controle de supervisão usando modelos de sistemas de evento discreto incluindo sistemas de aquecimento e ventilação em edifícios, encaminhamento de chamadas em redes telefônicas e controle operacional de redes de comunicação.

O controle de supervisão confiável dos sistemas de engenharia requer algoritmos de diagnóstico de falhas para os sistemas de eventos discretos. Para grandes plantas com concepção modular, como redes de comunicação, considerações de robustez e limitações na comunicação entre os sensores locais, conduziram a implementações descentralizadas de algoritmos de diagnóstico de falhas. Sendo o objetivo do trabalho propor algoritmos para o diagnóstico de falha descentralizada de sistemas de eventos discretos com comunicação entre diagnosticadores.

Segundo [84], foi estudada a implementação do controle de supervisão em controladores lógicos programáveis (PLC), onde geralmente exigem que os modelos de eventos discretos subjacentes da planta, bem como o próprio supervisor, atendam a uma série

de propriedades. Essas propriedades foram discutidas e os métodos para resolver problemas relacionados foram fornecidos, em particular, os problemas de determinismo e sincronização são investigados.

Conforme [85], foi estudada a teoria do controle de supervisão, e um *framework* poderoso para a síntese de controle para sistemas de eventos discretos, sendo aplicada a uma célula de fabricação comandada por um controlador de lógica programável (PLC). Por meio de uma abordagem modular local, com a finalidade de simplificar a implementação de um diagrama de escada. O comportamento flexível e produtivo das células de fabricação, após a implementação prática do sistema de controle, e a legibilidade e flexibilidade do código final do PLC foram os indicadores de qualidade positivos para a metodologia aplicada.

Segundo [108], foi analisado que em redes de telecomunicações, como em muitas outras áreas da ciência e engenharia, a proliferação de computadores como ferramentas de pesquisa resultou na adoção da simulação computacional como o paradigma mais comum de investigações científicas. Tendo restringido o interesse à aplicação de simulação estocástica de eventos discretos em estudos de avaliação de desempenho de redes de telecomunicações.

Esse estudo foi apoiado pelos resultados de uma pesquisa de mais de 2200 publicações em redes de telecomunicações em recentes processos (*proceedings*) do IEEE INFOCOM e revistas (*journals*) como o *IEEE Transactions on Communications*, a *IEEE/ACM Transactions on Networking*, e a *Performance Evaluation Journal*. Sendo a discussão concentrada em duas condições necessárias importantes de um estudo de simulação credível: uso de geradores pseudo-aleatórios apropriados de números uniformemente distribuídos independentes e análise apropriada de dados de saída da simulação.

3.3.5 Ano 2003

De acordo com [53], foi revisado a modelagem e a estrutura de sistemas com simulação de eventos discreto, tendo seus conceitos fundamentais discutidos do ponto de vista do processamento discreto de informações de eventos. Por meio de um exemplo extraído de experiências recentes sobre cognição infantil, teve como objetivo desenvolver sistemas inteligentes que empregam o paradigma de processamento discreto para controlar processos industriais dinâmicos complexos. Também analisou os avanços na perspectiva das modelagens em aplicações do mundo real, tendo como base as alegações de que o processamento discreto

de informações de eventos é um paradigma importante tanto para a compreensão da inteligência humana quanto para o desenvolvimento de novas tecnologias de informação.

Conforme [86], foi apresentado um método de construção de mapa autônomo e um método inteligente de estimativa de posição para um robô de semi-segmento. A localização inteligente incluía o conceito de controle de eventos discretos baseado em rede Petri, bem como o esquema de estimativa de posição usando a correspondência dos mapas. Dessa maneira, um robô móvel foi capaz de atuar na inteligência ao usar o controle discreto de eventos junto a sua lógica programada. Quando o robô não conseguiu calcular sua posição, as lógicas de manipulação de erros baseadas em eventos discretos foram ativadas de acordo com a configuração comportamental predeterminada.

Segundo [88], foi abordado que a detecção da identidade específica de produtos que se deslocam através da cadeia de suprimento de produção é tipicamente indireta. A partir disso, uma interpretação do impacto de tal facilidade em termos de maior observabilidade do estado (evento discreto) que representa os processos de produção, armazenamento, transporte e varejo a que um produto está sujeito durante seu ciclo de vida foi estudada. Examinando também essa noção ampliada de observabilidade e o seu impacto nos sistemas físicos representados por tais sistemas de eventos discretos através de um exemplo de manipulação de materiais.

Conforme [89], foi apresentada uma comparação baseada no desempenho de duas políticas de controle para evitar impasses e colisões em sistemas de veículos guiados automatizados (AGVS) controlados por zona. As Redes de Petri com tempo colorido foram usadas para modelar a dinâmica de AGVSs, sendo implementada por eventos discretos, criando as estratégias de controle decorrentes do conhecimento do estado do sistema.

De acordo com [90], foi apresentado um novo esquema de controle de emergência capaz de prever e prevenir um colapso de tensão em um sistema de energia, sendo modelado como um sistema híbrido incorporando dinâmicas não-lineares, eventos discretos e variáveis discretas manipuladas. O modelo de controle preditivo em conexão com a estrutura dinâmica lógica mista foi utilizado para estabilizar com sucesso a tensão de um sistema de quatro barramentos.

De acordo com [102], foi estudado sistemas distribuídos verdadeiramente assíncronos, onde nem o estado global nem o tempo global estavam disponíveis. A abordagem de diagnóstico com os desdobramentos de rede de Petri, motivada pelo problema da correlação de eventos no gerenciamento de rede de telecomunicações foi proposta em [101], usando

apenas estados locais em combinação com um modelo de tempo de ordem parcial. Dessa maneira, foi dada uma definição de diagnóstico fraca e forte em termos de execuções parcialmente ordenadas e também foram caracterizados sistemas diagnosticáveis.

3.3.6 Ano 2004

De acordo com [42], foi estudado um modelo empresarial usando a abordagem de eventos discretos operando nas unidades do nível operacional, como a cadeia de suprimento, seus recursos e alocações em fila, clientes, entre outras características modeladas abrangendo basicamente os níveis estratégico, tático e operacional de tomada de decisão em uma única simulação de vários modelos em diferentes níveis e resoluções. Foram discutidos os potenciais do uso de um modelo de simulação corporativa híbrido com eventos discretos no desenvolvimento de dinâmicos *balance scorecards*, mostrando que a atual teoria do *balanced scorecard* apresenta a falta de uma ferramenta robusta e quantitativa que oriente o processo de desenvolvimento do *scorecard* e salvguarde contra a subjetividade humana ou a abrangência inadequada.

Segundo [80], foi estudado que além dos fenômenos de tempo contínuo, vários eventos discretos ocorrem em um sistema de energia elétrica. Onde antes, o tamanho e o funcionamento dos sistemas de energia eram consideravelmente pequenos e centralizados em comparação com os grandes sistemas de energia descentralizada do presente da época.

Assim, cada evento discreto que ocorria no sistema de energia era reconhecido manualmente e as mudanças necessárias eram feitas na operação do sistema. Mas, com a desregulamentação recente da época, os tamanhos dos sistemas de energia aumentaram rapidamente e tornou-se muito difícil, se não impossível, usar os métodos tradicionais. Dessa maneira, foram necessárias ferramentas especializadas para modelagem e análise dos eventos discretos que ocorriam no sistema de energia. Assim, foi descrito de que forma a teoria discreta de sistemas de eventos poderia ser aplicada para modelagem e análise de uma rede de transmissão de energia.

Conforme [81], devido à importância do estudo do controle lógico dos sistemas de eventos discretos (DES), foi apresentado os principais avanços obtidos no controle descentralizado de supervisão do DES. A pesquisa descreveu o estado da arte neste campo de pesquisa e estabeleceu as tendências que permitiram que obras e aplicativos futuros fossem realizados nesta área de controle.

Conforme [82], foram apresentados problemas de controle descentralizado com comunicação atrasada, onde os atrasos são ilimitados ou delimitados por uma determinada constante. No modelo de atraso limitado, entre a transmissão de uma mensagem e sua recepção, a planta pode executar na maioria dos eventos. No modelo de atraso ilimitado, a planta pode executar qualquer número de eventos entre transmissão e recepção. Foi mostrado que a estrutura produzia uma hierarquia infinita de problemas de controle, contudo, o problema de observação descentralizado relacionado com a comunicação de atraso limitado era passível de decisão.

Segundo [87], foi fornecida uma condição necessária e suficiente para o controle descentralizado de sistemas de eventos discretos através de composição prioritária com exclusão (PCX). O PCX foi estendido a partir da composição síncrona priorizada (PSC) para modelar vários modos booleanos de fusão de decisão, permitindo a exclusividade de participação nas interações do sistema. O resultado foi estendido para vários supervisores com vários conjuntos de exclusividade com base em uma definição de PCX estendida.

Segundo [104], foi analisado como o *call center* tornou-se um importante ponto de contato e parte integrante da maioria das empresas. Onde o seu gerenciamento é apontado como um desafio devido a existência de muitos fatores complexos. Dessa forma, melhorar o seu desempenho é fundamental e valioso para oferecer um melhor serviço. Nesse contexto, foram aplicadas técnicas de previsão para estimar as chamadas recebidas para um par de *call centers* de uma empresa de telecomunicações móveis. Também foi desenvolvido um modelo de simulação de eventos discretos para aprimorar o desempenho dos *call centers*, onde os resultados mostraram redução no gerenciamento de custos e melhor satisfação do cliente.

De acordo com [110], foi analisado que os atendentes do serviço ao cliente de *call center* (CSRs) tendem a ter habilidades diferentes, onde cada tipo de CSRs pode lidar com um tipo diferente de chamada. Dessa maneira, os avanços nos distribuidores automáticos de chamadas (ACDs) tornaram possível o roteamento baseado em habilidades (SBR), que é o protocolo para encaminhamento *on-line* das chamadas recebidas para os CSRs apropriados. No momento, muito pouco se sabe sobre SBR.

Nesse contexto, foi desenvolvido um modelo de simulação de evento discreto para analisar o desempenho de um ambiente SBR em que as chamadas recebidas são tratadas em ordem de prioridade e de forma não preventiva. Foi demonstrado empiricamente que o cenário

em que os agentes que possuem 2 habilidades são quase tão eficientes como o cenário onde os agentes têm todas as habilidades (*resource pooling*).

3.3.7 Ano 2005

De acordo com [24], o trabalho teve como foco o impacto das decisões de produção, usando modelos de simulação de eventos discretos, em medidas de desempenho em nível empresarial, fazendo uma abordagem híbrida para a simulação de toda a empresa. Para isso foi necessário modelar variáveis de estado como o número de trabalhos aguardando na fila de frente de uma máquina, o *status* de cada máquina no chão de fábrica, a localização de cada trabalho na fábrica, representado no fluxo do modelo acompanhando o fluxo de entidades através da fábrica, sendo conceitualmente consistente com a tendência comercial atual em relação aos sistemas integrados. Foi apresentado o potencial para usar essa abordagem através de um exemplo de empresa de semicondutores.

De acordo com [35], discutiu problemas de planejamento de produção multi-planta quanto a determinação do tipo e quantidade de produtos a serem produzidos nas plantas em vários períodos de tempo. Dessa maneira, foi proposto um modelo híbrido para a arquitetura de planejamento de produção baseada em eventos discretos para o planejamento em nível corporativo e de nível de loja para solução desses problemas.

De acordo com [77], os pesquisadores tiveram como foco fenômenos evolutivos da natureza com o desenvolvimento de métodos de modelagem de banco de dados espaço-temporais. No entanto, a maioria das pesquisas foram focadas no tratamento de mudanças discretas em objetos espaciais. Com base no estudo de versões, eventos e processos, para descrever fenômenos espaço-temporais. Sua estrutura permitiu a representação de entidades e processos dentro de um banco de dados e habilita a expressão de consultas relacionadas a mudanças no espaço e no tempo.

Conforme [78], o projeto genoma forneceu informações abrangentes sobre os blocos de construção básicos da vida. Sendo até então, o próximo desafio de entender como as funções biológicas emergem das interações complexas desses blocos de construção. Assim, foi apresentado uma estrutura de simulação genérica e extensível “*in silico*” que permite ao experimentador testar várias hipóteses e desenvolver um modelo para análises de testes. Dessa forma, empreendendo uma abordagem de sistemas, foi abstraído um processo biológico como um conjunto de funções interativas conduzidas no tempo por um conjunto de eventos discretos.

Segundo [79], o trabalho citou John Schmitz, (SEMATECH 2005), onde o mesmo declarou: "A nova economia para a microeletrônica com FAB (sendo esse um tipo de semicondutor) custando bilhões de dólares e tecnologias de redução do orçamento forçaram os fabricantes de IC a buscarem níveis de produtividade sem precedentes nos próximos cinco anos". Com US\$ 1,2 bilhão sobre FABs de 300 milímetros, a modelagem de simulação de eventos discretos, deverá se tornar o padrão e certamente será uma das alternativas mais econômicas para melhorar a produtividade e o crescimento no futuro. O modelo apresentado pode ser facilmente editado para corresponder a qualquer FAB, adicionando ou subtraindo conjuntos de ferramentas com uma função de cópia e cola ou destacar e excluir função semelhante ao *MS Word*.

Segundo [103], o estudo foi motivado pela necessidade de reconsiderar os métodos de análise e *design* das redes de transporte aéreo, a fim de atender demandas crescentes diante da rede atual, perto da saturação. O foco dessa pesquisa foi entender o que impulsionava uma coleção de nós para se organizar como uma rede sem escala (*scale-free network*). Assim, foi criada uma simulação de evento discreto, nominalmente de um sistema de transporte aéreo, para entender (uma vez que uma rede é livre de escala) o que interrompia essa estrutura aparentemente natural.

3.3.8 Ano 2006

Segundo [32], foi exemplificado um modelo com eventos discretos de uma peixaria, onde foram exibidos: a aleatoriedade dos eventos de chegada de navios, a própria pesca de peixes no mar, a quantidade de estoques, fatores externos como o clima e mudanças do ambiente, o tamanho do pescado influenciando na frota de pesca, entre outros. Nesse trabalho, foi estudado a aleatoriedade operacional produzida por esses fatores.

Conforme [50], foi pesquisado e destacado que simulações realistas do tráfego de pacotes da *internet* a nível nacional ou global é uma tarefa muito trabalhosa tanto em sua modelagem como em sua perspectiva computacional. Perante esse cenário, foi implementado uma nova abordagem para a simulação de rede, fazendo a transmissão por pacotes baseado em tecnologia distribuída em eventos discretos, sendo apresentado uma simulação de uma rede de Los Angeles, EUA.

De acordo com [75], foi projetado *SimEvents* para simular *discrete event systems* (DES), estando incorporado no *Simulink*[®], sendo um novo produto de simulação para eventos discretos e sistemas híbridos, onde foram abordados alguns exemplos de áreas de aplicação.

De acordo com [76], no departamento de automação e sistemas (DAS) da Universidade Federal de Santa Catarina - Brasil (UFSC), a ferramenta Grail foi utilizada para ensino e pesquisa no campo da teoria do controle supervísório (SCT). Essa ferramenta foi utilizada para controle de supervisão, a fim de compilar os desenvolvimentos relacionados ao SCT, possuindo extensões para lidar com diferentes tipos de problemas, dedicadas ao controle de supervisão de sistemas de condição e eventos discretos.

3.3.9 Ano 2007

Conforme [16], foi proposto e estudado a aplicação da técnica de simulação a eventos discretos na simulação de sistemas de comunicação óptica, através de pacotes modelados pela técnica. A transmissão foi analisada através da luz (por meio de *lasers* pelo simulador), mostrando coerência dos resultados com a teoria.

Segundo [51], foi descrita uma comparação entre dois modelos de simulação da infraestrutura de telecomunicações de voz para uma área metropolitana para redes fixas e sem fio com milhões de assinantes. Uma delas bem detalhada sendo um modelo de simulação *call-by-call* por eventos discretos, com o objetivo de investigar a disponibilidade da infraestrutura de telecomunicações sob interrupções.

Conforme [91], o *Northrop Grumman* em apoio da *Transportation Security Administration* (TSA), parte do departamento de segurança interna (DHS) dos Estados Unidos, iniciou o desenvolvimento do *software* de simulação de eventos discretos do *Security Checkpoint Optimizer* (SCO) em 2001. Desde então, vários modelos de simulação de rastreamento de segurança foram desenvolvidos em apoio aos estudos da DHS *Science and Technology Branch* e TSA. Em 2007, a *Northrop Grumman* foi encarregada pelo *TSA Office of Security Technologies* de desenvolver um protótipo de sistema que demonstre conectividade de equipamentos de triagem com um sistema de monitoramento e controle de rastreamento de empresas.

Para suportar o protótipo, o SCO foi aprimorado com recursos de rede para permitir a emulação de dispositivos. O *software* de simulação SCO conseguiu atuar como um "*stand in*" para dispositivos de triagem, que atualmente não possuem capacidade de rede. O protótipo

inicial mostrou a viabilidade de um sistema interconectado, e tem servido como base para futuros testes. O estudo também produziu informações valiosas para facilitar a implementação real.

Conforme [92], foi investigado o problema de projetar controladores de eventos discretos incorporados em redes de comunicação. Foi assumida a existência de um caminho entre cada par de processos na rede. Em cada processo, certos eventos são chamados de eventos significativos do processo, onde o objetivo de controle é especificado sobre o alfabeto de todos os eventos significativos. O foco desse trabalho estava sobre a comunicação entre os processos necessários para atingir o objetivo de controle.

De acordo com [93], foi desenvolvido e simulado um modelo híbrido eficiente, com eventos discretos, para prever o comportamento de uma área urbana controlada por uma determinada estratégia de controle, intersecções e *on-ramps* são modeladas por redes temporizadas de Petri enquanto as ligações rodoviárias são modeladas por um modelo estocástico de tempo discreto. As entradas de controle foram os tempos de comutação dos semáforos. Tendo como objetivo minimizar o número médio de veículos na área urbana em um horizonte temporal fixo para evitar um congestionamento na área.

De acordo com [94], foi discutido o desempenho humano na resolução de problemas no contexto do controle de supervisão de sistemas de eventos discretos. Um estudo observacional foi descrito, incluindo atividades tais como: determinar o que é o sistema e qual é a especificação de controle, descrevendo a dinâmica do sistema e o comportamento desejado, decidindo a controlabilidade dos eventos entre outros. Os resultados podem ser usados para orientar o projeto de *software* para solução de problemas assistido por computador dentro desse contexto.

De acordo com [95], foi apresentado um novo modelo de redes de tráfego urbano usando redes Petri, permitindo que fosse abordado os problemas de controle de tráfego que levam problemas de sincronização de semáforos. Com esse objetivo, foi criado um modelo da problemática com recursos compartilhados inerentes a modelagem de sistema dinâmico de eventos discretos. O modelo proposto também fornecia avaliações de desempenho interessantes, como contagens em tempo real de veículos e limites de tempo de permanência em cada parte da encruzilhada estudada.

Segundo [153], de 2007, foram estudadas as ideias da teoria do sistema por trás de muitos dos novos métodos que estavam sendo desenvolvidos no crescente campo da biologia

de sistemas. E foram mostrados dois exemplos: um na área da cinética química estocástica, e o outro na invalidação do modelo biológico. A cinética química estocástica ganhou muita atenção nos últimos anos. Para capturar certas dinâmicas importantes no ambiente subcelular, foi necessário modelar as interações moleculares no nível do gene como eventos estocásticos discretos.

3.3.10 Ano 2008

Segundo [3], propôs um *framework* para combinar e sincronizar os paradigmas dinâmicos e eventos discretos de um sistema empresarial de fabricação, abrangendo custo, escalabilidade e as naturezas estocásticas e deterministas das diversas unidades de negócios e as complexidades de detalhes junto com as perspectivas de complexidade dinâmica na tomada de decisões.

Conforme [14], foi discutido um modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido para identificar e compreender o impacto de diferentes falhas nas capacidades globais de produção em uma planta química industrial. Tendo como objetivo entender seus principais componentes que contribuem para a perda máxima de produção e analisar o impacto de uma nova política minimizando tais perdas de produção.

Conforme [71], apresentou uma abordagem de simulação de eventos discretos para sistema com parâmetros imprecisos, apresentando os problemas associados ao evento com um tempo impreciso. Para tais sistemas, a simulação é executada de acordo com eventos cujas datas são conhecidas; mas em modelos nebulosos (*fuzzy*), pode ser que a data dos eventos seja imprecisa. A imprecisão é relativa ao valor de um evento e a incerteza em sua ocorrência. Para resolver esse problema, foi sugerido o uso de um método que converta um valor impreciso em um valor exato.

De acordo com [72], foi estudado uma das promessas da arquitetura orientada a serviços (SOA) esta que cria serviços complexos de valor agregado para aprimorar e ampliar os existentes. Os aplicativos baseados em serviços (SBAs) são solicitados não só para executar as funcionalidades necessárias, mas também para fornecer o nível esperado de qualidade de serviço (QoS). Com isso, foi proposto uma abordagem de simulação de eventos discretos que garante a avaliação do desempenho das SBA em diferentes contextos. Suas principais contribuições foram: (i) a abordagem de modelagem de eventos discretos para SBAs, (ii) o

modelo baseado em contexto para SBAs considerados no modelo de simulação de eventos discretos e (iii) a avaliação de um conjunto de métricas QoS por simulação.

De acordo com [107], foi estudado que a modelagem e a simulação aparecem como um aspecto essencial para prever o comportamento específico da rede de sensores sem fio em diferentes condições. Dentro dessa temática, foi fornecida uma nova abordagem de modelagem, simulação e visualização da rede de sensores sem fio usando uma abordagem de evento discreto. Descrito por [106] nos anos 70, eventos discretos são ideais para descreverem a natureza assíncrona dos eventos ocorridos no WSN (*Wireless Sensor Network*). A intenção dos autores foi tentar fornecer um modelo base para analisar o desempenho da WSN, como gerenciamento de roteamento, consumo de energia ou atividade relativa da CPU.

3.3.11 Ano 2009

De acordo com [70], foi abordado que sistema de evento discreto também é adaptado para simular qualquer circuito elétrico descrito com um sistema de equações diferenciais ordinárias usando a quantificação do estado do sistema. Dessa maneira, foi dada uma solução para tornar mais eficiente a quantificação de magnitude para um sistema de equações diferenciais ordinárias e lineares. A técnica proposta é usada para simular simples sistemas de energia acoplados de três fases e também comparada com outras soluções.

Conforme [105], foi investigada uma simulação de eventos discretos de protocolos de roteamento de redes de sensores sem fio. Foi também proposto um simulador de eventos discretos chamado SENSIM (*SENsor networks SIMulator*). Nele foram implementados protocolos de classe de roteamento linear, roteamento hierárquico (PEGASSIS) baseado na localização (MFR). A implementação desses protocolos foi baseada no sistema de um estacionamento. Os resultados da simulação mostraram que o PEGASSIS é o melhor protocolo de roteamento, oferecendo melhor vida útil da rede.

3.3.12 Ano 2010

Conforme [20], foi estudado que na maioria dos modelos analíticos de tomada de decisão em sistemas de saúde, é presumido que haja tratamento sem demora e disponibilidade de todos os recursos necessários. Portanto, os tempos de espera causados por recursos limitados e seu impacto nos efeitos e custos do tratamento geralmente permanecem desconsiderados. Assim, técnicas de simulação são usadas para avaliar esses sistemas que incluem filas ou

espera, como a simulação de eventos discretos, sendo a ênfase e a modelagem da chegada dos pacientes.

Segundo [13], foi pesquisado a grande tendência na área industrial tem sido a aplicação de tecnologias de redes de comunicação, como o protocolo CAN (*Controller Area Network*), como solução em sistemas de controle distribuído. O maior desafio no desenvolvimento de sistemas distribuídos baseados em redes industriais é o efeito dos atrasos de comunicação da rede no desempenho do sistema de controle. Sob esse contexto, foi apresentado o desenvolvimento de um modelo matemático e de um modelo com redes de Petri coloridas para simulação de sistemas de controle distribuído baseados no protocolo CAN, sendo a modelagem e simulação utilizando eventos discretos.

De acordo com [68], foi descrita uma nova metodologia que permite modelar e usar sistemas de inferência difusa (FIS) com formalismo de eventos discretos para realizar o controle ou a aprendizagem em sistemas descritos de forma incompleta ou com dados linguísticos.

De acordo com [69], foi avaliada uma questão importante para o gerenciamento hospitalar: “Qual é o menor número de recursos adicionais que seriam necessários em um departamento de emergência, devido ao aumento do volume de pacientes, e que não comprometeria o fluxo do paciente?” A resposta pode ser analisada através de vários cenários de modelos de simulação de eventos discretos.

De acordo com [100], foi apresentado o *GroudSim*, um kit de ferramentas de simulação em *Grid* e *Cloud* (grade e em nuvem) para aplicações científicas baseadas em um núcleo de evento discreto independente escalável de simulação. Ele fornece um conjunto abrangente de recursos para cenários de simulação complexos. O *framework* de simulação desenvolvido suporta modelagem de recursos computacionais e de rede *Grid and Cloud*. Os resultados experimentais demonstraram a escalabilidade melhorada do *GroudSim* em comparação com uma abordagem baseada em processos.

3.3.13 Ano 2011

Conforme [48], foi implementado para protocolo de roteamento em redes *wireless*, um mecanismo de transmissão de pacotes a eventos discretos em ambiente de simulação, mapeando e rastreando seu caminho em nó da rede, usando eventos para atualização e rastreamento dos pacotes.

Segundo [49], foi pesquisado, classificado e comparado simuladores de rede de telecomunicações com base em seu tipo, modo de implementação, deficiências de rede e protocolo suportado. Mostrando o uso da simulação de eventos discretos como ajuda à modelagem e avaliação de desempenho de redes de computadores e sistemas de telecomunicações tem crescido nos últimos anos.

Conforme [66], foi estudado a confiabilidade de equipamentos de lançamento e recuperação de aeronaves da marinha americana (ALRE), sendo os modelos de componentes utilizados dentro de um modelo de simulação de evento discreto para prever a confiabilidade e disponibilidade do sistema. O equipamento em si, não sofreu alterações e sim o aumento da carga ou estresse, que o sistema foi exposto, aumentando a manutenção.

De acordo com [67], foi estudado a colaboração eletrônica pela *internet* entre parceiros de negócios, por meio bem-estabelecidos de troca de mensagens que envolvem padrões definidos e padrões de infraestrutura definidos pelo usuário. Ao mesmo tempo, a noção de evento é cada vez mais promovida para comunicação assíncrona e coordenação em sistemas SOA (Arquitetura Orientada a Serviços). Onde entre parceiros ou entre componentes é conseguido por meio de trocas de unidades discretas de dados (mensagens ou eventos) através de um protocolo baseado na *internet*.

3.3.14 Ano 2012

De acordo com [21], foi apresentado um trabalho tendo como objetivo empregar redes neurais artificiais para representar de modo mais realístico as ações provenientes de pessoas em modelos de simulação. Através de um modelo de simulação hipotético, ocorreria uma intervenção proveniente da ação de uma pessoa em uma situação normalmente típica em sistemas a eventos discretos.

De acordo com [12], teve como objetivo aumentar a probabilidade de entrega de mensagens em redes tolerantes a atrasos e interrupções (DTN), propondo um mecanismo de remoção de mensagens obsoletas para redes deste tipo implementando o uso de eventos discretos em sua solução.

Segundo [64], foi analisado que aplicações industriais contêm plantas que são Sistemas de Eventos Discretos (DES), elas devem ser controladas de forma que o DES atinja algumas especificações como: evitar *deadlocks*, alcançar ou evitar o alcance de alguns estados, executar ou evitar a execução de algumas sequências de eventos, executar sequências cíclicas de eventos com

os períodos mais curtos, etc. Assim foram modeladas tais plantas por atraso do tempo de rede de Petri (DTPN) e os controladores são modelos de tempo de rede de Petri (TPN).

Conforme [65], foi estudado o futebol de robô, onde uma boa estratégia é essencial para o sucesso de uma equipe, responsável por definir o comportamento de cada robô nas muitas situações do jogo e fazer o time jogar de forma cooperativa para ganhar. Para realizar isso, foi proposta uma metodologia para projetar estratégias de robô de futebol com base em eventos discretos. A ideia principal foi permitir a construção de uma estratégia de jogo onde o comportamento de cada robô pode ser modificado dinamicamente, dependendo do contexto da partida, permitindo implementar a interação entre os vários comportamentos de um sistema de forma simples, proporcionando a adição de novos comportamentos sem alterar os comportamentos atuais já em uso, sendo a principal vantagem da abordagem proposta.

3.3.15 Ano 2013

Conforme [9], foi feita uma aplicação real de um projeto de simulação a eventos discretos em ambiente de saúde, no qual a direção do hospital necessitava conhecer seu processo e identificar o tempo de permanência do cliente na fila, visando melhorias no processo.

Segundo [63], foi analisado os dados visuais de séries temporais financeiras. Existem vários elementos de dados potenciais a serem exibidos, incluindo dados quantitativos contínuos e dados de eventos discretos. Com essa visão, foi projetado e implementado uma representação visual escalável para a representação de muitos eventos discretos de tempo marcado em uso por centenas de milhares de especialistas em mercados financeiros. Esta visualização permite que uma única tela organize visualmente um grande volume de dados de eventos, para facilitar a inferência através do alinhamento visual de dados relacionados, e fornecer um fluxo de trabalho a partir do único ponto de acesso a uma ampla variedade de informações detalhadas. Permitindo que uma maior ordem de magnitude de tipos de eventos seja associada aos dados de séries de tempo.

3.3.16 Ano 2014

De acordo com [62], foi estudado o desenvolvimento de edifícios inteligentes. Esse assunto ganhou importância para que os especialistas possam analisar e pesquisar ideias para edifícios inteligentes diminuindo despesas e economizando energia. O tempo é a essência para os especialistas, os quais usaram o software do simulador antes de construir uma casa inteligente. Assim foi apresentado um simulador orientado a objetos para eventos discretos em edifícios inteligentes. Com estas características, a flexibilidade e a usabilidade aumentaram para que o

usuário pudesse facilmente simular a construção inteligente e estudar novas ideias com menores custos.

De acordo com [46], foi pesquisada a interferência entre as células no LTE-*Advanced* podendo ser atenuada usando técnicas coordenadas de multiponto (CoMP) com transmissão conjunta de dados do usuário, havendo coordenação entre os eNodeBs, usando a interface X2. Foi utilizada a simulação de evento discreto para avaliar os requisitos de latência nessa interface e investigando as consequências de um *backhaul* contido, demonstrando ganho na throughput do sistema em comparação com o caso sem CoMP para *backhaul* de baixa latência.

De acordo com [109], foi visto que muitos pesquisadores usam a simulação de eventos discretos para *call centers* como uma ferramenta para melhorar o planejamento de recursos e otimizar os serviços. O estudo investigou o uso da simulação de eventos discretos em um sistema mais complexo, composto por um centro de serviços de tecnologia de informação (ITC) em vários estágios. As ordens dos clientes precisam passar por vários processos envolvendo diferentes tipos e níveis de serviços. Um experimento fatorial completo foi projetado com duas variáveis independentes: horários do servidor e demanda do cliente. Uma ANOVA foi realizada usando SAS® (*software* estatístico em sua versão 9.3) para encontrar os efeitos das variáveis independentes e sua interação na utilização do servidor e no tempo de espera do cliente. O objetivo principal desta pesquisa foi atender às crescentes demandas de serviços e otimizar o sistema, a fim de minimizar o tempo de espera do cliente, dado os recursos limitados.

3.3.17 Ano 2015

Segundo [10], foi apresentado um modelo de simulação de eventos discretos para análise do fluxo de veículos utilizando o *software FlexSim*®. A simulação foi implementada em um trecho da rodovia Anhanguera entre os km 215 e Km 26,5 que liga o interior à capital São Paulo - Brasil.

Segundo [61], foi analisado o conceito de capacidade associada ao nível de serviço podendo ser usado com simulação em várias situações que envolvam planejamento logístico e comercial de organizações, pois permite uma visão prática do comportamento real de um sistema, facilitando a compreensão de gargalos existentes. Dessa maneira, foi apresentado uma metodologia de determinação da capacidade a partir de níveis de serviços oferecidos, utilizando um modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido. Considerando também a abordagem sistêmica, permitindo uma determinação mais prática e rápida do gargalo operacional.

3.3.18 Ano 2016

Conforme [11], apresentou um modelo de simulação a eventos discretos para análise do processamento de um servidor de *e-mail*. Foram analisados o envio e o recebimento de mensagens, levando em consideração o período do *lead time* dos mesmos.

Segundo [58], foi estudado a simulação de evento discreto (DES), como uma tecnologia desenvolvida usada para modelar sistemas de manufatura e serviços. Foi reconhecida a importância de modelar pessoas em DES, sendo que há poucas orientações sobre como isso pode ser alcançado na prática. Os resultados de uma revisão da literatura foram utilizados para identificar exemplos do uso de DES para esse objetivo. Sendo verificado que não existem métodos comuns, mas uma ampla gama de abordagens utilizadas para modelar o comportamento humano no DES. Dessa maneira, foi fornecido um esboço das abordagens utilizadas para modelar as pessoas em termos de tomada de decisão, disponibilidade para o trabalho, desempenho da tarefa e taxa de chegada.

Segundo [59], foi abordado o problema do planejamento nos sistemas de fabricação, propondo um método para encontrar uma sequência de eventos em um supervisor que maximize o paralelismo entre os equipamentos. O principal objetivo é encontrar, entre todas as execuções permitidas pelo supervisor, aquela que acumula mais equipamentos trabalhando ao mesmo tempo durante todo o processo de produção.

Conforme [60], foi analisado a área de simulação de evento discreto combinado (DES) com uso de realidade virtual (VR) na indústria. Ao estabelecer um estado da arte para o progresso nesta área, o estudo aborda o caso da VR DES com o veículo de escolha para análise de dados complexos através de modelos de simulação interativos, destacando suas vantagens e limitações atuais. Analisando os tópicos de pesquisa ativos, como a integração de VR e DES, os protocolos de comunicação, considerações de projeto do sistema, validação de modelos e as aplicações de VR e DES.

3.3.19 Ano 2017

De acordo com [54], identificou o comportamento de sistemas de eventos discretos construído a partir de uma sequência de eventos de entrada/saída observados, sendo um modelo compreensível que exibia as relações diretas entre eles (ou seja, o comportamento observável do sistema) e as evoluções do estado interno (isto é, o comportamento não observável),

ajustando assim para os propósitos de engenharia reversa. A abordagem foi aplicada a um *benchmark*, resultando em uma partição funcional adequada.

Conforme [55], foi proposto uma abordagem baseada em dados de simulação de eventos discretos (DES) para fornecer suporte de decisão aos gerentes de projeto na programação do mesmo. Onde o planejamento de projetos é um fator essencial que determina o seu sucesso, sendo influenciado por várias estimativas de agendamento, como estimativas precisas da duração e do orçamento do projeto. Além de dependerem altamente das incertezas relacionadas aos eventos imprevisíveis que ocorrem comumente durante a duração de um projeto. Assim foi apresentado uma ferramenta para esse propósito, que apresentou várias visualizações de resultados e ajudou os gerentes de projetos a comparar diferentes estratégias e parâmetros.

Segundo [56], foi abordado o problema da existência de um controlador para sistemas de eventos discretos em tempo de rede. Os resultados são novos e úteis para qualquer sistema de eventos discretos em rede para o qual é importante que o tempo seja explicitamente considerado no modelo. Assumimos que um controlador (supervisor) se comunica com o sistema a ser controlado através de uma rede de comunicação compartilhada. Atrasos e perdas nos sistemas de comunicação e seus impactos no controle foram investigados. Os resultados foram aplicados no gerenciamento de rede de distribuição de energia usando um sistema de teste de 33 nós, onde o objetivo é garantir que a potência total do transformador da subestação permaneça dentro de limites de segurança pré-especificados.

Segundo [57], foi tratado da identificação de sistemas de manufatura modelados a eventos discretos que são automatizados usando um controlador lógico programável (PLC). Propondo um método que segue uma abordagem de identificação permitindo lidar com DES industriais grandes e complexos produzindo modelos compactos e expressivos de rede de Petri (IPN). Consistindo em duas etapas complementares; a primeira obtém, a partir de sequência I/O (input/output), sendo a parte reativa do modelo composto por lugares e transições observáveis. A sequência de I/O também é mapeada em uma sequência das transições criadas, a partir da qual o segundo estágio constrói a parte não observável do modelo. A proposta foi implementada e testada com as sequências de entrada/saída obtidas de sistemas reais em operação.

3.4 Síntese do Capítulo 3

Este capítulo forneceu uma ampla pesquisa histórica bibliográfica, reafirmando o uso da metodologia em estudo, DES, em vários cenários de aplicação e uma grande variedade de sistemas do mundo real foram modelados e estudados por evento discreto, e aqui apresentados.

Foi observado na sessão 3.2, que a biblioteca *SimEvents* do ambiente de simulação *Simulink* do *software Matlab*, se trata de uma ferramenta muito utilizada e universalmente aceita, sendo uma ótima convenção para a modelagem de sistemas, assim como adequada para o desenvolvimento da proposta deste trabalho, por ser uma ferramenta consolidada e com blocos já testados e validados.

Além disso, por meio de registros acadêmicos, dentro do período investigado, pode ser verificada a modelagem de conceitos de alto nível de abstração, como sistemas de manufatura e de processos comerciais, computadores em sistemas de computação, nós em redes de comunicação de dados ou telefônicos, sistemas de transporte, empresas de prestação de serviços como bancos, sistemas de transações para bancos de dados, protocolos de comunicação, serviços adicionais para centrais digitais como *call centers*, sistemas de transporte inteligentes, controle de processos em engenharia de controle, sistemas de defesa e equipamentos militares, como muitos outros descritos sucintamente neste capítulo.

Desse modo, foi notável a diversidade de aplicações que a técnica de modelagem proporciona, mostrando sua importância em diversas áreas de conhecimento, assim como na engenharia, área da proposta deste trabalho, onde por meio de uma abordagem diferente da técnica usual em um sistema de telecomunicação, a transmissão no canal é realizada no domínio discreto com a implementação de entidades discretas no processo de geração de *bits*.

4 METODOLOGIA PROPOSTA

4.1 Modelagem

Para a modelagem do sistema, assim como a proposta deste trabalho, foi utilizado o ambiente de simulação *Simulink*[®] do *software Matlab*[®], em sua versão 8.3 de 64 *bits* (2014a), por ser uma ferramenta consolidada e com blocos já testados e validados.

As bibliotecas utilizadas são a *Communications System*[™] que é feita para projetar, simular e analisar sistemas, podendo modelar sistemas de comunicações dinâmicos, a *DSP System*[™] que fornece as capacidades para se projetar e simular sistemas com processamento de sinais, o *Simulink*[®] que é um ambiente de diagrama de blocos para a simulação de vários domínios, suportando projeto em nível de sistema para a modelagem e simulação de sistemas de telecomunicação, a biblioteca *SimEvents*[®], é um mecanismo de simulação de eventos discretos e componentes para desenvolver modelos de sistemas orientados a eventos específicos [19].

No modelo, Figura 5, os sinais correspondentes com os *bits* 0 e 1 são gerados, respeitando a regra e lógica matemática mostrada na equação 05 mais adiante, e então modulado com o formato de modulação avançado DQPSK, usando deslocamento de fase, oriundo do próprio formato de modulação, sendo assim uma representação da banda base do sinal modulado, seguindo para um canal AWGN de acordo com os parâmetros exibidos no Quadro 01. Em seguida, o sinal é demodulado para realização do cálculo da taxa de erro de *bit* (BER) do canal. Os valores obtidos referentes ao BER são enviados para o espaço de trabalho MATLAB, nas variáveis de nome **yout** para verificação de igualdade e geração do gráfico BER do sinal.

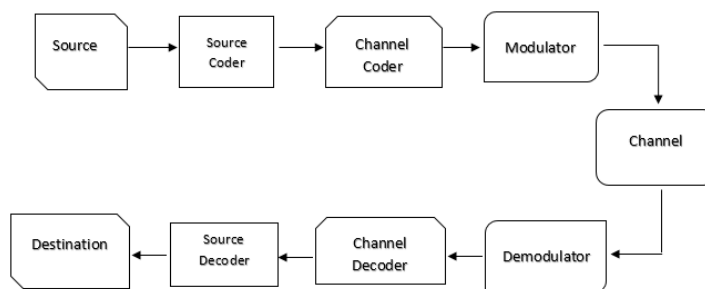


Figura 5 - Modelo tradicional de um sistema de telecomunicação

4.2 Implementação

A modelagem de acordo com a proposta implementada com eventos discretos é semelhante à mostrada no subitem anterior, diferenciando que neste modelo, foi adicionado o processo de eventos discretos chamado de pré-codificação.

A proposta é chamada de pré-codificação de bits por meio da metodologia de eventos discretos, sendo entendida como o tratamento do bit com a metodologia de eventos discretos na etapa da geração de bits do sinal (informação) para torná-lo mais apropriado para uma aplicação específica para sua manipulação em um domínio específico.

Assim como a sessão 2 descreveu as entidades como sendo os itens discretos de interesse em uma simulação de eventos discretos, pois elas transportam os dados e atributos desejados, onde não são o mesmo que eventos.

Dessa maneira, o *bit* ao ser gerado, respeita a regra matemática para números M-ários PSK. O *bit* 0, é convertido de um sinal de dados baseado no tempo para um sinal de dados baseado em eventos, estando conforme no domínio discreto de interesse, sendo o valor do sinal antes da conversão idêntico ao do sinal convertido.

O sinal baseado em eventos é o sinal suscetível a tratamento pela biblioteca *SimEvents*, estando no formato específico exigido para manuseio pela biblioteca do *Simulink*[®]. Ambos sinais baseados no tempo e sinais baseado em eventos, estão no domínio do tempo.

A seguir são criadas entidades a partir deste sinal, e então enviadas para uma fila FIFO, sem limite de capacidade e retenção. O sistema de fila se caracteriza por um processo de chegada e um processo de serviço. Nesse sistema os intervalos de chegada A_1, A_2, \dots, A_n , são aleatórios independentes e identicamente distribuídos (IID) assim como os tempos de serviço S_1, S_2, \dots, S_n , também são aleatórios independentes e identicamente distribuídos (IID). A disciplina de atendimento na fila é FCFS (*First Come First Served*), sendo o primeiro que entra é o primeiro que sai, também chamada FIFO (*First In First Out*). Dessa maneira, as entidades passam por ela, respeitando a sequência FIFO (primeiro que entra é o primeiro que sai), ordenando os *bits* conforme realmente sua ordem de chegada, esta lógica é ilustrada na Figura 6.

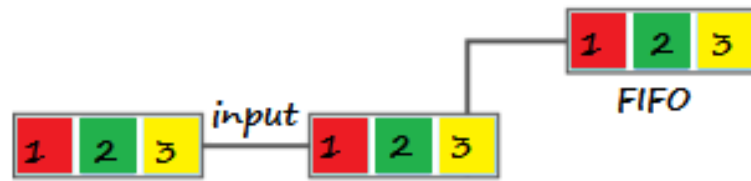


Figura 6 - Execução de uma fila FIFO e suas operações

Teoricamente filas de eventos usualmente obedecem a processos de Poisson. A chegada de entidades na fila FIFO pode ser expressa através de uma distribuição de Poisson. A distribuição de Poisson descreve a probabilidade da chegada de n entidades durante um período de tempo T , sendo expressa por:

$$P_T(n) = \frac{(\lambda T)^n \exp^{-\lambda T}}{n!} \quad (1)$$

Equação 01 – Utilização do servidor

onde λ é a média da taxa de chegada de entidades no tempo T [116] [117].

E após as entidades se dirigem para um servidor (*single server*), atendendo apenas uma entidade de cada vez, o qual possui uma configuração de tempo de serviço igual ao tempo de simulação.

Na Figura 7 está representada a lógica utilizada e descrita pelo autor.

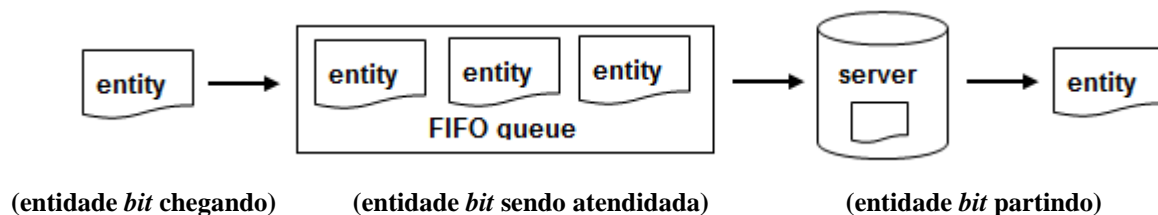


Figura 7 – Caminho/percurso das entidades

Nesse contexto, pode-se definir a utilização do servidor, conforme as entidades *bits* passam por ele, sequencialmente, conforme lógica estabelecida, sem parada, indicada como $u(n)$, e definindo uma relação de tempo que o servidor ficou ocupado ao longo da observação de n entidades [112] [113] [114] [115]. Assim, $S(t)$ como:

$$S(t) = \begin{cases} 1 & \text{se o servidor está ocupado no tempo } t \\ 0 & \text{se o servidor está livre no tempo } t \end{cases}$$

Equação 02 – Lógica utilização do servidor

Logo, pode-se estimar $u(n)$ como:

$$\hat{u}(n) = \frac{\int_0^{T(n)} S(t) dt}{T(n)} \quad (2)$$

Equação 03 – Utilização do servidor

Onde $T(n)$ é o tempo que a fila ficou com entidades, sendo $T_0 + T_1 + T_2 + \dots + T_n$ [112] [113] [114] [115].

Logo depois, é encerrado o caminho que as entidades percorrem, através do *Entity Sink*, tendo exclusivamente esta função, representando o final da modelagem a eventos discretos pela biblioteca *SimEvents*.

Assim é realizada a conversão inversa do sinal baseado em evento para sinal baseado no tempo, passando ainda por uma conversão intermediária de tipo, através do ambiente do *Simulink*[®] que converte um sinal de entrada de qualquer tipo de dados para o tipo de dados especificado segundo parâmetro do tipo de dados de saída desejado, de acordo com a função *Real World Value* (RWV), neste caso, um inteiro, preservando o valor real do sinal de entrada.

Em seguida é realizado um arredondamento com a função *floor*, arredondando para o menor número inteiro mais próximo. Por fim também é feito um *Zero-Order Hold* (ZOH), sendo essencialmente um conceito teórico para definir a amostragem em um sentido prático, estas para amostras discretas em intervalos de tempo regulares. O modelo matemático para reconstrução prática do sinal é dado abaixo:

$$x_{\text{ZOH}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] h_{\text{ZOH}}(t - nT) \quad (3)$$

Equação 04 – Zero-Order Hold (ZOH)

O qual descreve o efeito da conversão de um sinal para o domínio do tempo, o reconstruindo e mantendo cada valor de amostra por um intervalo de tempo T especificado,

nesse caso 1, produzindo um sinal de saída com um tempo de amostra discreto, totalizando a conversão final do sinal para seu formato original e tipo de dados especificado, assim como mantendo o período de amostragem. Concluindo assim a lógica de tratamento sobre o *bit* 0. Na Figura 8 está representada a lógica descrita.

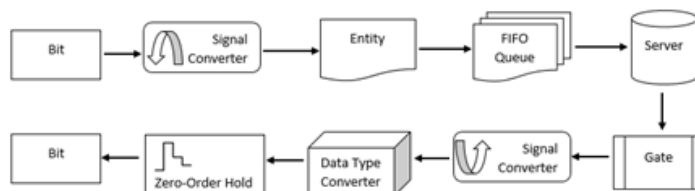


Figura 8 – Proposta

Seguidamente o sinal é então modulado com o formato de modulação avançado DQPSK e inserido no canal AWGN.

O diferencial deste trabalho está no uso de eventos discretos aplicados em tal baixo nível de abstração, sendo a geração dos *bits*. Após o sinal passar pelo servidor, ele é convertido de volta ao seu formato original respeitando o formato original sendo o tipo de dados especificado, mantendo seu período de amostragem, respectivamente.

Assim, o sinal é então modulado em DQPSK e inserido no canal AWGN, e depois demodulado para fins de cálculo da BER do sinal, para então os valores relativos a esta BER também serem enviados para a área de trabalho do MATLAB®, na variável de nome **yout1** para verificação de igualdade e geração do gráfico BER do sinal, conforme é representado na Figura 9.

O modelo apresentado na Figura 9, incorpora a modelagem tradicional com a proposta apresentada, como também destaca a parte modelada de acordo com a técnica de eventos discretos, em azul, conforme descrito anteriormente.

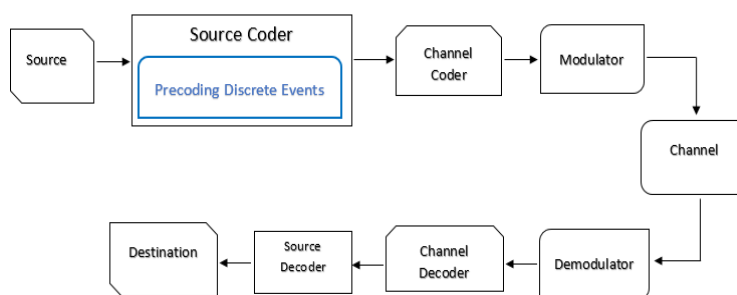


Figura 9 – Modelo de um sistema de telecomunicação com a proposta

Os modelos ilustrados nas Figura 5 e 9 foram executados com 100 segundos de simulação com a finalidade de visualizar melhor o sinal transmitido, e respeitando a configuração definida segundo Tabela 1.

AWGN DQPSK/DBPSK	
Tempo de amostra	1 sec
Tempo de simulação	1000 sec
Eb/N0	0 a 14 dB
Período de símbolo	1 sec
Potência do sinal de entrada	1 watt
Semente inicial no gerador	37
Semente inicial no canal	67

Tabela 1. Parâmetros modelos canal DQPSK

A regra e lógica matemática em relação ao número M-ário PSK, sendo uma nomenclatura do software Matlab, é mostrada na Equação 05 abaixo e a respectiva geração dos *bits* na Figura 10.

$$\begin{aligned}
 &[0, 1-1] \rightarrow 0,0 \\
 &[0, M-1] \rightarrow \\
 &[0, 2-1] \rightarrow 0,1
 \end{aligned}$$

Equação 05 – Geração n°s M-ários para os bits 0 e 1

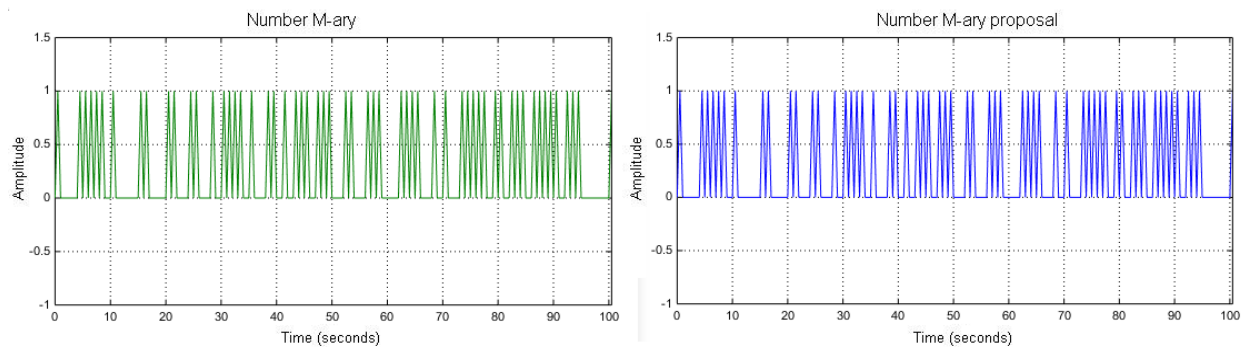


Figura 10 – Sinal gerado

4.1 Modulação DQPSK

A seguir será mostrado o sinal modulado em DQPSK e transmitido pelo canal AWGN, segundo Figuras 11 e 12 respectivamente.

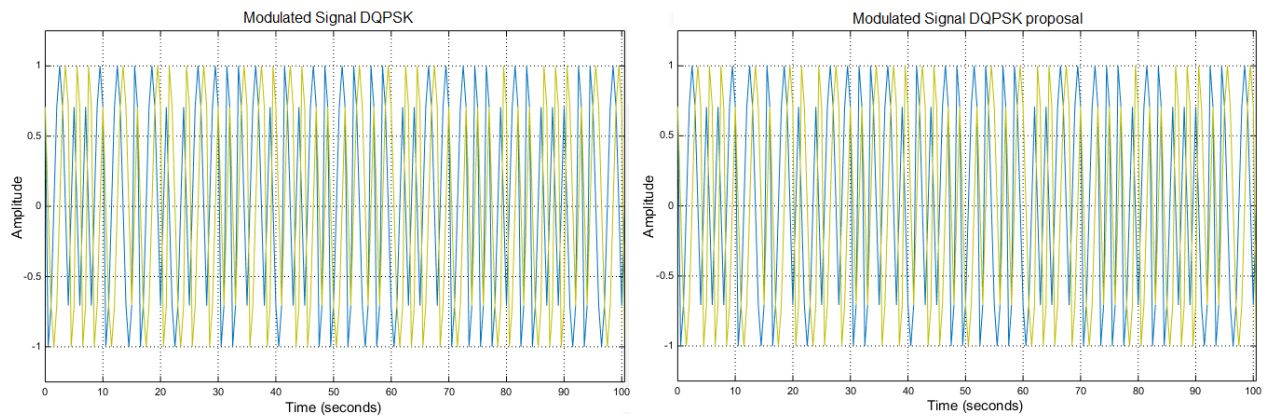


Figura 11 - Sinal modulado DQPSK

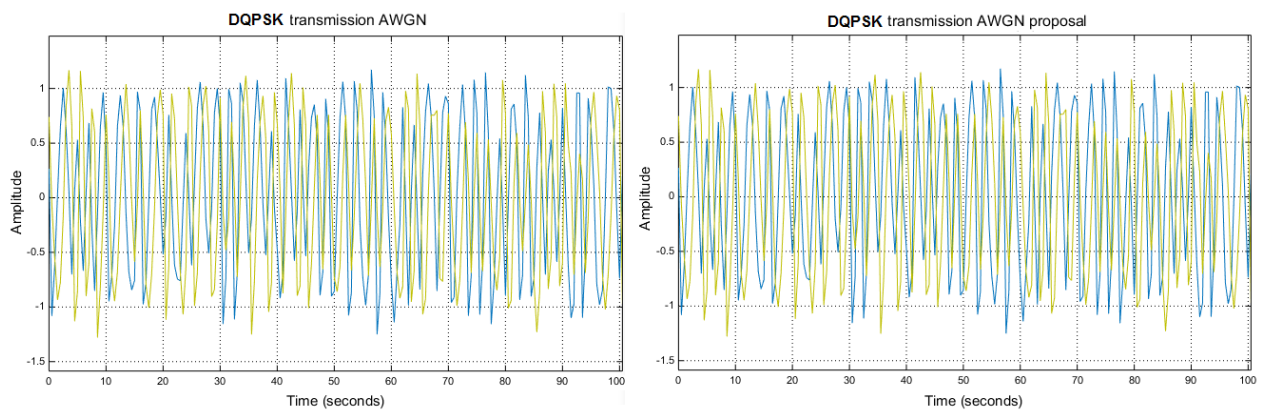


Figura 12 - Sinal após passagem pelo canal AWGN

A verificação de igualdade mostrada na Figura 13 é realizada através da função *isequal*, comparando as partes reais e imaginárias do sinal, retornando o valor lógico 1 (verdadeiro) se A e B são do mesmo tamanho e seu conteúdo é de igual valor; caso contrário, retorna 0 (falso). Essa verificação tem como objetivo mostrar que a proposta não modifica o sinal.

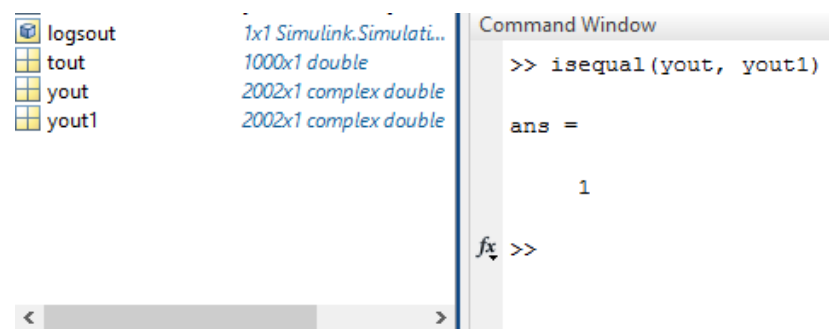


Figura 13 – Verificação da igualdade dos sinais DQPSK

Também foi analisada a constelação de ambos sinais transmitidos pelos modelos. Foi usado o comando *compass*, que exibe um gráfico de compasso com n setas, como as constelações são PSKs, suas representações dos pontos são radiais, devido a essa característica o formato do gráfico tem essa forma de compasso, onde n é o número de elementos em Z . A localização da base de cada seta é sua origem.

A localização da ponta de cada seta é relativa à base como determinado pelas componentes reais e imaginárias de Z , relativa a constelação do sinal. A Figura 14 mostra os resultados segundo esse comando.

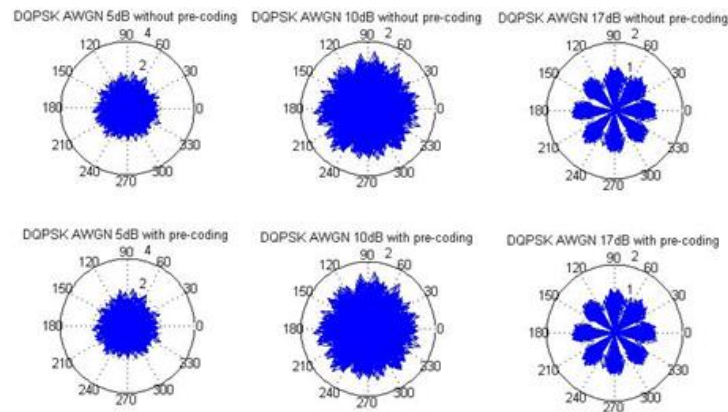


Figura 14 – Compass DQPSK (acima) e com proposta (embaixo)

A Figura 15 é referente aos diagramas de constelação do modelo, também fazendo relação com o comando *compass*.

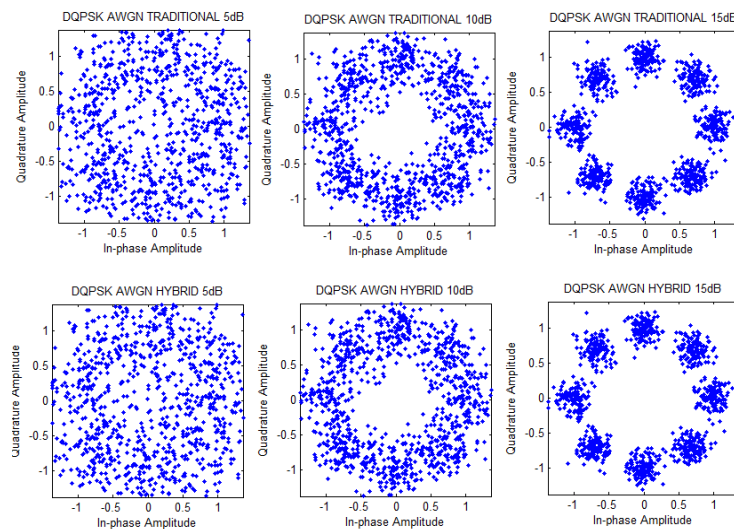


Figura 15 – Constelação DQPSK (em cima) e com proposta (embaixo)

A Figura 15 segue e referencia a Figura 3 do item 2.2, do capítulo 2, que descreve e explica a modulação DQPSK e exibe como é sua constelação.

4.2 Modulação DBPSK

Nesta sessão será seguida a mesma sequência de acompanhamento do sinal como exibido na sessão anterior, reafirmando que a proposta não modifica o sinal, agora este sendo modulado em DBPSK e transmitido pelo canal AWGN, assim como mostrado sua constelação segundo o formato de modulação aplicado, segundo Figuras 16, 17, 18 e 19 respectivamente.

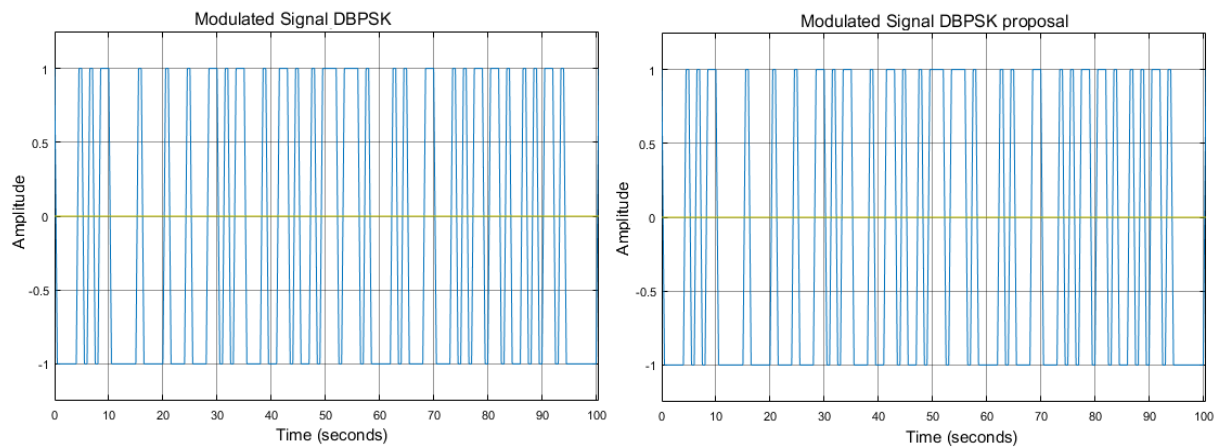


Figura 16 - Sinal modulado DBPSK

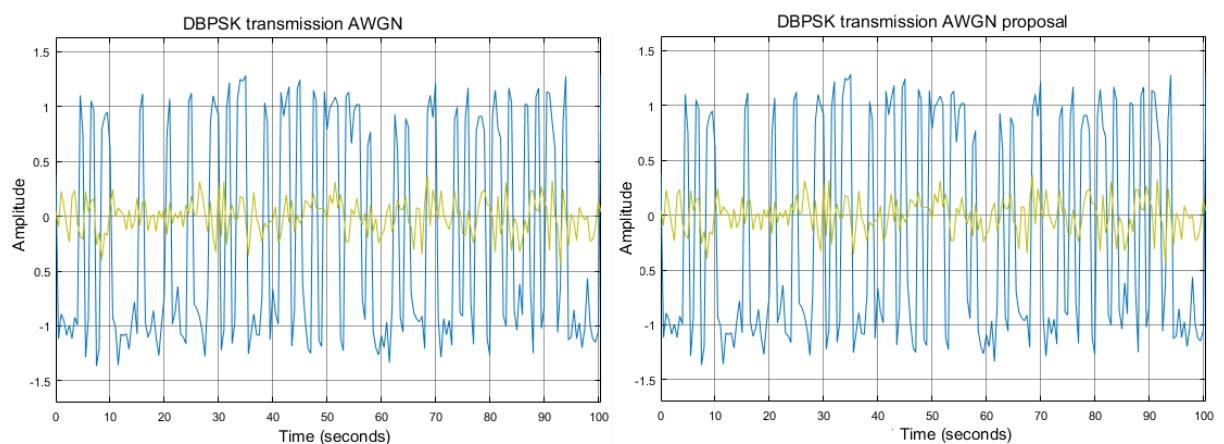


Figura 17 - Sinal DBPSK após passagem pelo canal AWGN

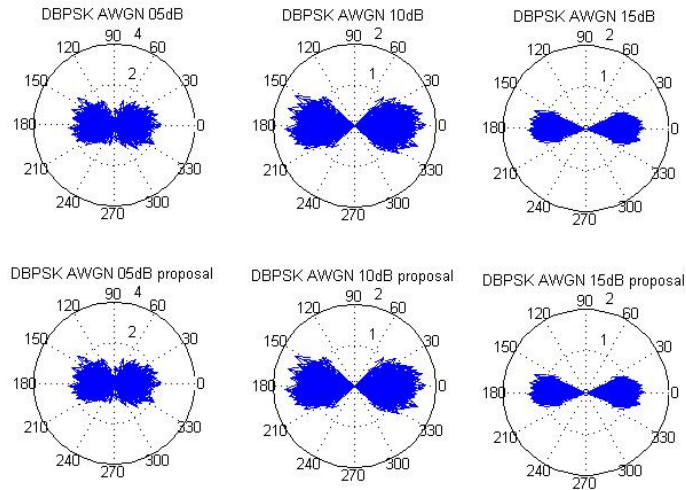


Figura 18 – Compass DBPSK (em cima) e com proposta (embaixo)

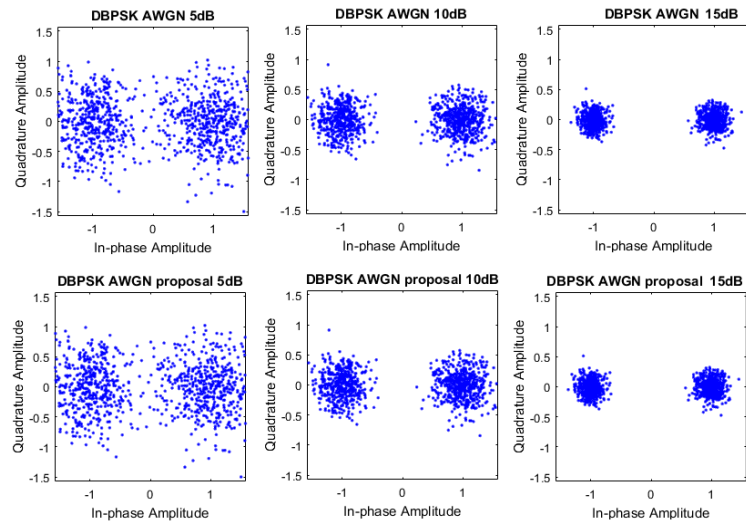


Figura 19 – Constelação DBPSK (em cima) e com proposta (embaixo)

A Figura 19 segue e referencia a Figura 4 do item 2.2, do capítulo 2, que descreve e explica a modulação DQPSK e exibe como é sua constelação.

4.3 Modelagem Wireless

Foi desenvolvido um outro modelo de simulação, agora voltado para uma aplicação wireless, utilizando um canal com desvanecimento Rayleigh e aplicando a proposta do trabalho.

Dentro deste contexto foi modelado de acordo com o padrão da Figura 20, um sistema de comunicações wireless, onde os sinais correspondentes aos *bits* 0 e 1 são gerados e depois modulados em DQPSK, passando por um canal de desvanecimento Rayleigh com

multipercurso, com modelo Jakes com deslocamento *doppler* definido em 0,01 Hz, e também incorporado uma função matemática $1/u$.

Foi aplicada a mesma abordagem em relação a proposta de pré codificação dos bits, notando o mesmo resultado em relação a geração de *bits*, o fluxo de transmissão e as constelações dos sistemas, validando ainda mais a proposta, conforme mostrado nas figuras 20 e 21.

Essa função é necessária para rastrear a variabilidade do tempo do canal, onde a implementação do receptor normalmente incorpora um controle de ganho automático (AGC), depois de seguir um canal AWGN, conforme os mesmos parâmetros especificados no Quadro 01. Em seguida, o sinal é demodulado para avaliar a taxa de erro de bit (BER) do canal. Os valores obtidos referentes ao BER são enviados para o espaço de trabalho *Matlab*[®], para posterior processamento e verificações de igualdade assim como geração do gráfico BER do sinal.

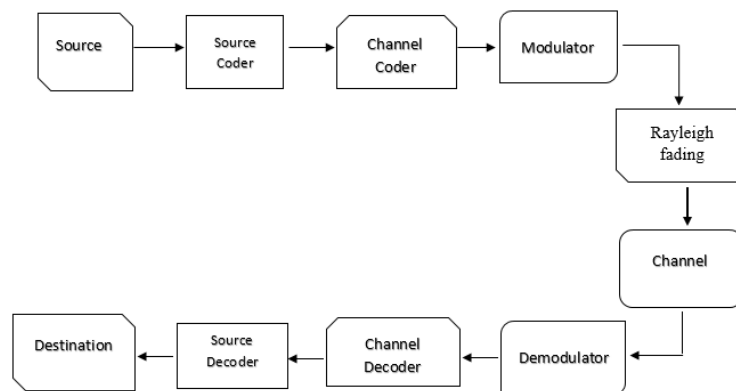


Figura 20 - Modelo wireless

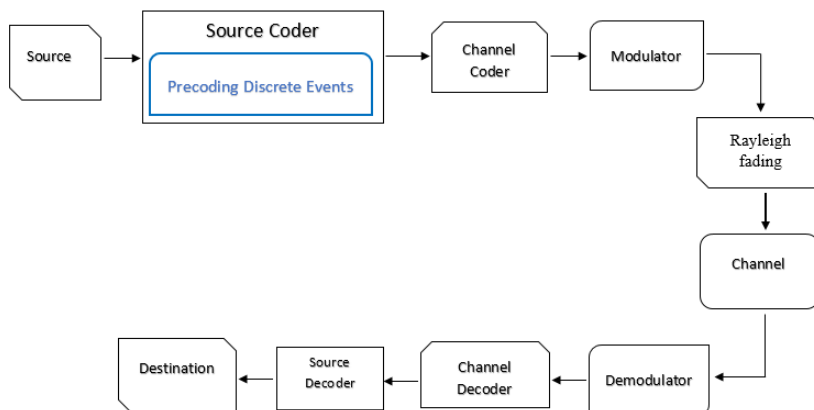


Figura 21 - Modelo wireless com a proposta

4.4 Modulação DQPSK

Nessa sessão será seguida a mesma sequência de acompanhamento do sinal assim como exibido na sessão 4.1, também afirmando que a proposta não modifica o sinal, sendo agora o sinal modulado em DQPSK e transmitido por canais AWGN, um com desvanecimento multipercurso Rayleigh e outro Rician, como também mostrado sua constelação, segundo Figuras 22, 23, 24 e 25 respectivamente.

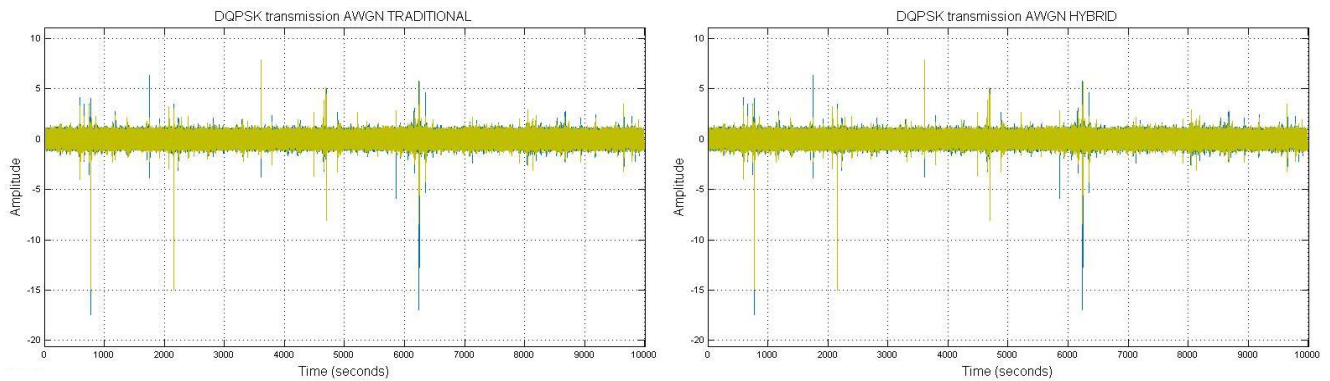


Figura 22 – Sinal Rayleigh após passar pelo canal AWGN

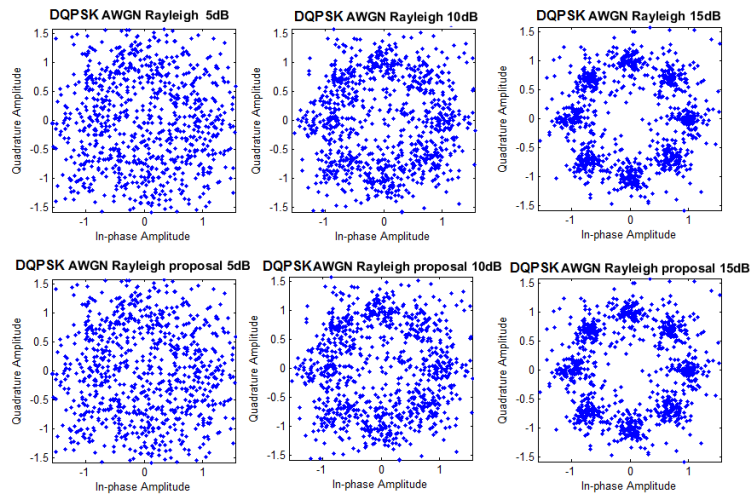


Figura 23 – Constelação DQPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo)

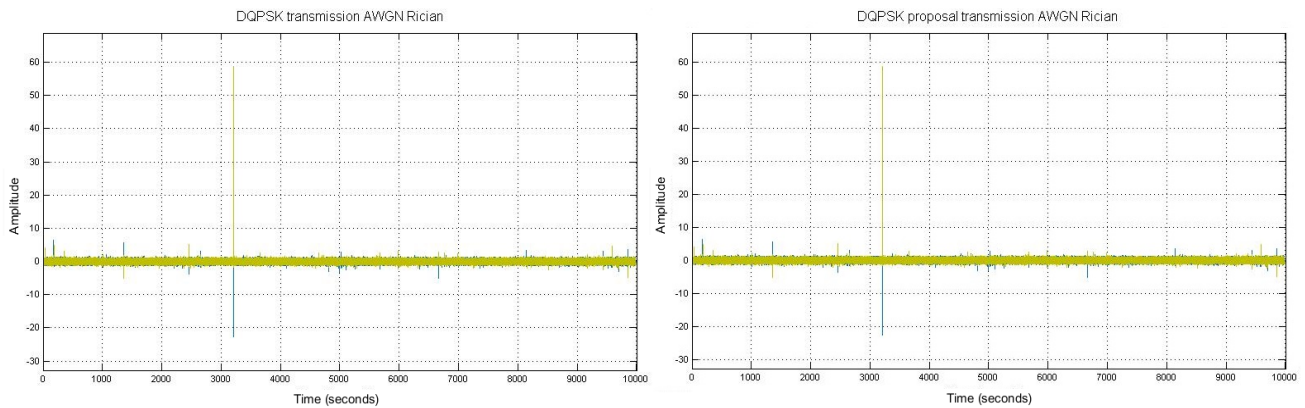


Figura 24 – Sinal Rician após passar pelo canal AWGN

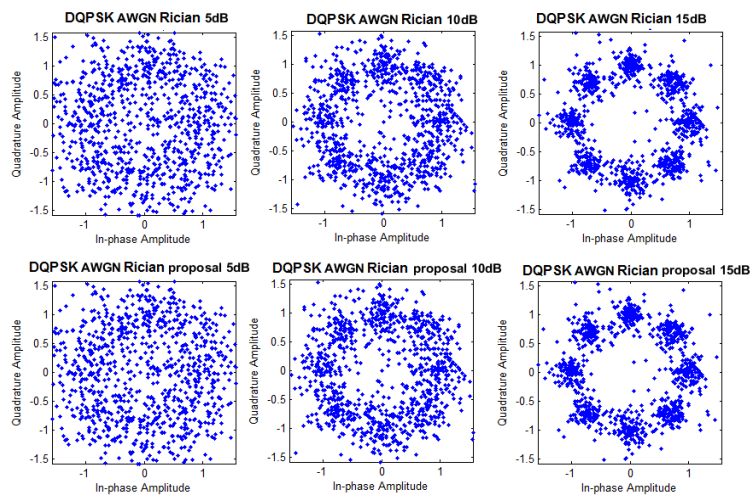


Figura 25 – Constelação DQPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo)

4.5 Modulação DBPSK

Nessa sessão, o sinal é modulado em DBPSK e transmitido por canais AWGN, sendo um com desvanecimento multipercurso Raileigh e outro Rician, seguindo o mesmo raciocínio mostrando que a proposta não modifica o sinal, também mostrado sua constelação, conforme Figuras 26, 27, 28 e 29 respectivamente, e seguido a sequência de acompanhamento deste sinal assim como exibido na sessão anterior.

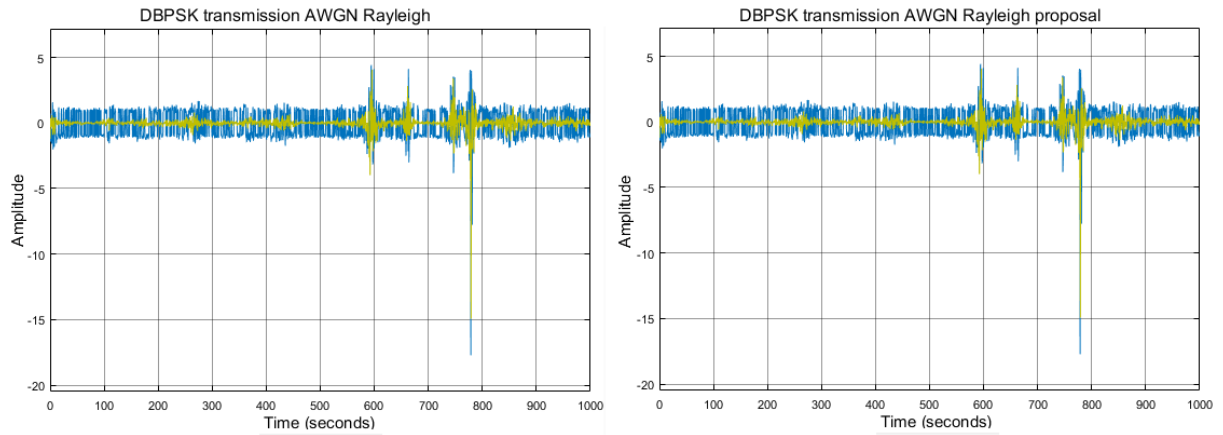


Figura 26 – Sinal DBPSK Rayleigh após passar pelo canal AWGN

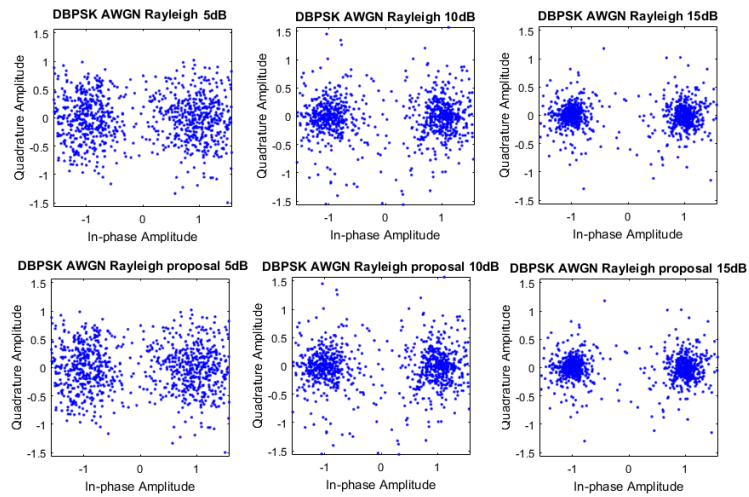


Figura 27 – Constelação DBPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo)

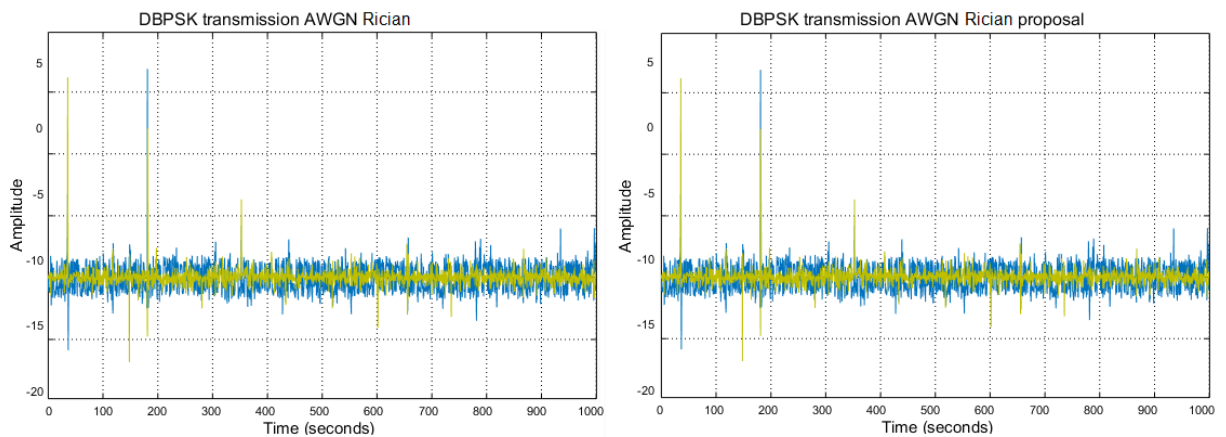


Figura 28 – Sinal DBPSK Rician após passar pelo canal AWGN

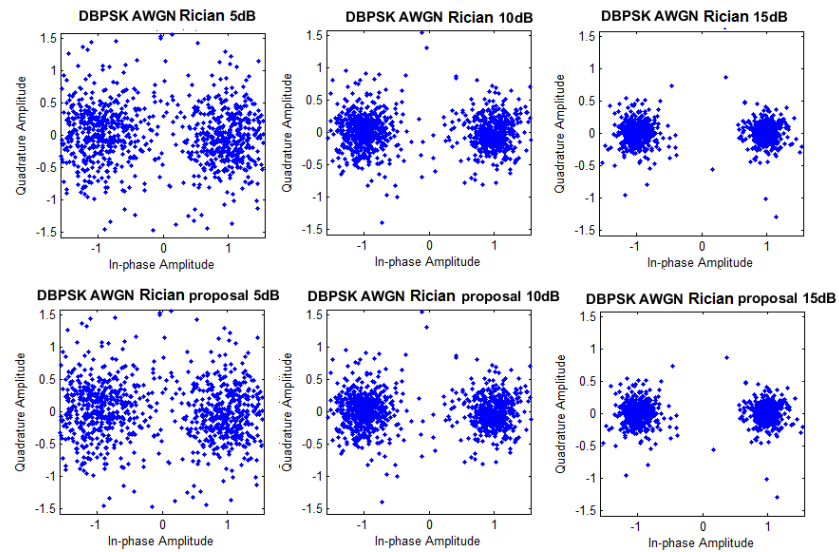


Figura 29 – Constelação DBPSK (em cima) e com pré-codificação (embaixo)

4.6 Síntese do Capítulo 4

Em todos os pontos analisados, ambos os modelos geraram o mesmo resultado, onde em um canal de transmissão com a proposta e um outro com a metodologia tradicional, passam o mesmo conteúdo de informação (quantidade de bits), sem nenhuma perda (sinal e constelação) e com a mesma qualidade (BER),

Confirmando que ambos transmitem o mesmo sinal gerado e modulado, como pode ser observado nas figuras apresentadas deste tópico. Assim como fazendo referência e seguindo a teoria estudada quanto a modulação aplicada.

Também foi desenvolvido e modelado um sistema de telecomunicações, e aplicada uma pré-codificação como proposta, e a partir desses modelos, foram geradas comparações e os resultados serão apresentados no próximo capítulo.

5 RESULTADOS

Os modelos desenvolvidos foram investigados sob a ótica da avaliação do tempo de simulação e o tempo de computação. Ambos conceitos explicados e exemplificados, mais adiante neste capítulo na sessão 5.1.4.3, e também sob a ótica da memória utilizada pelos modelos.

Para isso foram utilizadas máquinas físicas com configuração de *hardwares* diferentes, consistindo de um processador Intel Core i5 e memória RAM 8GB, e outra com um processador Intel Core i3 e memória RAM 4GB. Relacionando a proposta com a dinâmica do mundo real e afirmando sua eficiência e aplicabilidade

5.1 Avaliação de Tempo de Simulação

O tempo (simulação e computação), em suma, foi escolhido como parâmetro de avaliação, por estar trabalhando com modelagem e simulação, como também, pelo fato que o tempo é uma estimativa de eficiência.

Nesta seção serão apresentados os resultados sobre as avaliações do cálculo do tempo gasto nas simulações. Para obtenção dos mesmos, foram realizadas 5 simulações sequenciais de cada comando utilizado com os modelos.

5.1.1 Função *Tic Toc*

Os comandos **tic**, **toc**, e **sim** via linha de comando no *prompt* do *Matlab*[®] medem quanto tempo o modelo leva para fazer a simulação dependendo do modo que está configurado, podendo ser *Normal*, *Accelerator*, *Rapid Accelerator*, *Software-in-the-Loop (SIL)*, *Processor-in-the-Loop (PIL)* ou *External*, no caso desta modelagem, ela está configurada no modo *Normal*.

A função **tic** inicia um cronômetro para medir o desempenho, registrando o tempo interno da execução do comando – **tic** – e exibindo o tempo decorrido com a função **toc**.

A função **toc** lê o tempo decorrido a partir do temporizador do cronômetro iniciado pela função **tic**, e juntamente lê o tempo interno da execução do comando **toc**, exibindo o tempo decorrido desde a última chamada pela função **tic** que não tinha saída, **em segundos**.

A função **sim** simula o sistema, seguindo a sintaxe **sim ('modelo', 'ParameterName1', Value1, 'ParameterName2', Value2 ...)**; ou seja, fazendo com que o Simulink[®] realize a

simulação do diagrama de blocos (modelo) usando os parâmetros especificados. Nesse caso, a função recebe o modelo (em roxo) e o parâmetro referente ao tempo de simulação, como mostrado na Figura 30.

```
tic, [t,x,y]=sim(' modelo ', tempo simulação );toc
```

Figura 30 – Sintaxe tic toc

5.1.1.1 Modelo DQPSK

Nesta sessão, serão exibidos os gráficos com os resultados obtidos sobre os modelos desenvolvidos, modulados em DQPSK, onde no eixo y está o tempo simulado e no eixo x estão as respectivas simulações, sobre a análise do tempo de simulação por meio da função tic toc, previamente explicada na sessão anterior, segundo Figuras 31, 32 e 33 respectivamente.

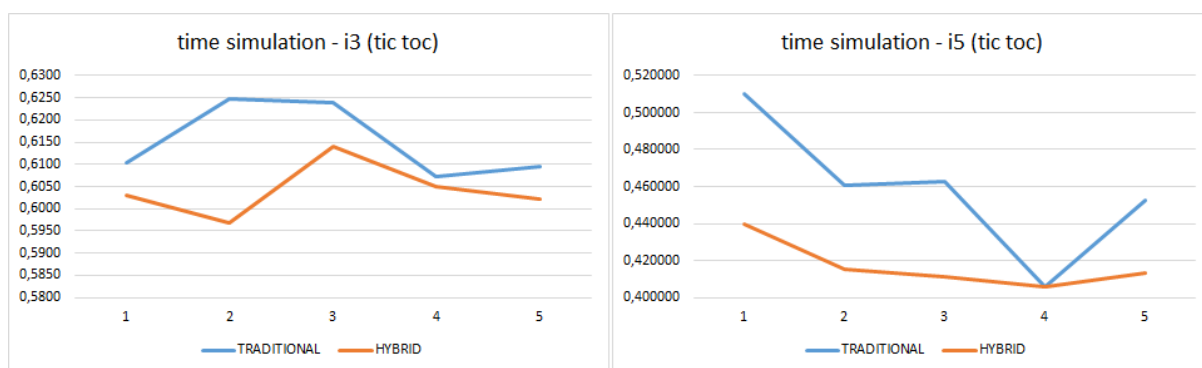


Figura 31 – Função tic toc modelo DQPSK

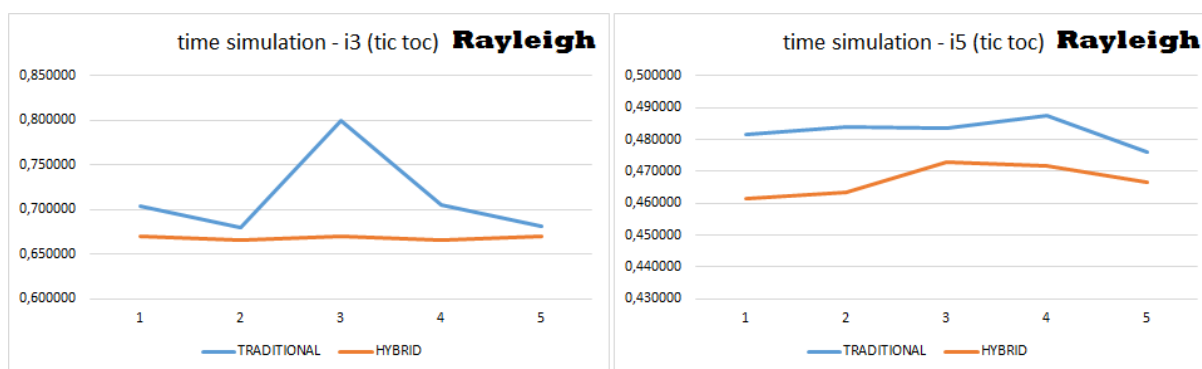


Figura 32 – Função tic toc modelo DQPSK Rayleigh

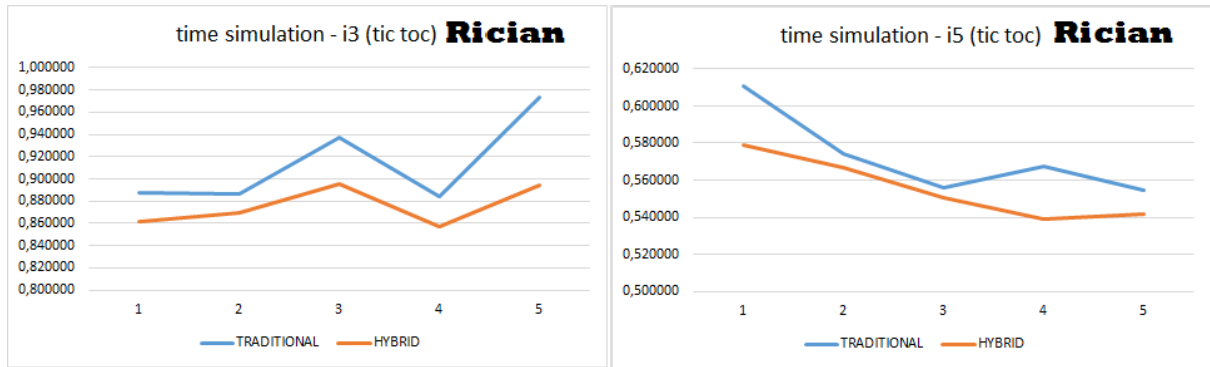


Figura 33 – Função tic toc modelo DQPSK Rician

5.1.1.2 Modelo DBPSK

Da mesma maneira, nesta sessão serão exibidos os gráficos com os resultados obtidos sobre os modelos desenvolvidos, agora modulados em DBPSK, seguindo a mesma representatividade nos gráficos, sobre a análise do tempo de simulação por meio da função tic toc, segundo Figuras 34, 35 e 36 respectivamente.

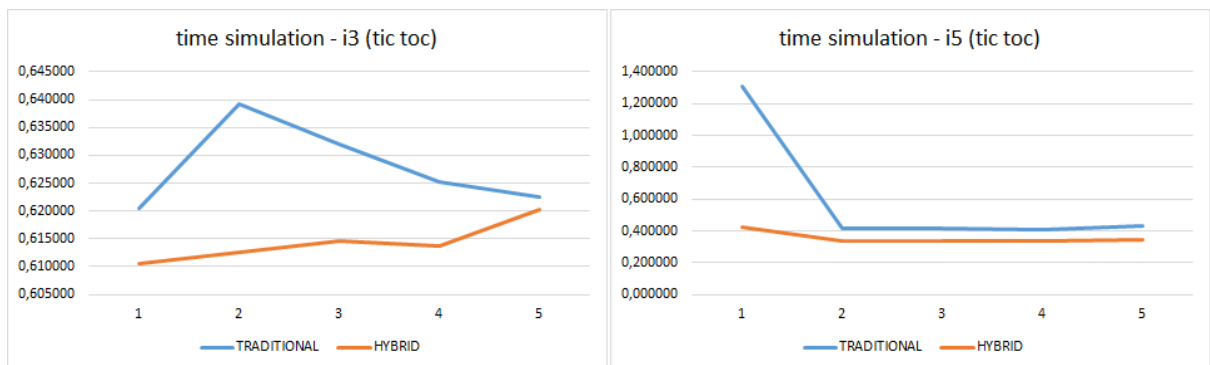


Figura 34 – Função tic toc modelo DBPSK

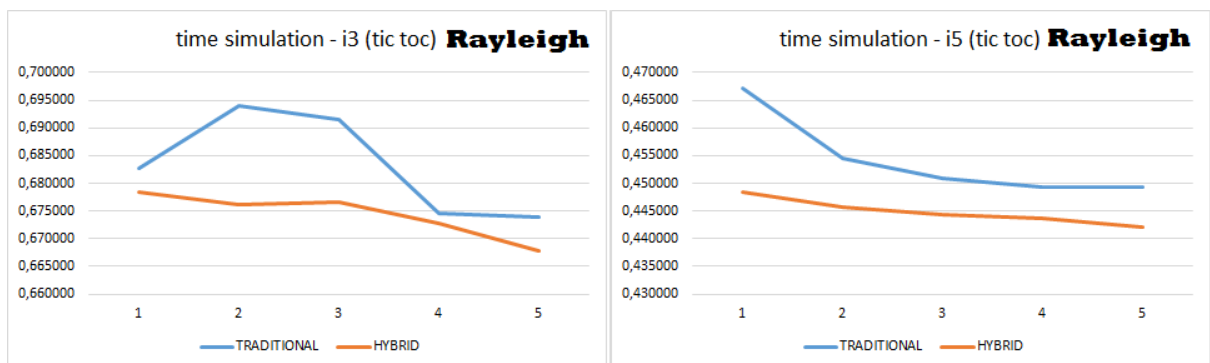


Figura 35 – Função tic toc modelo DBPSK Rayleigh

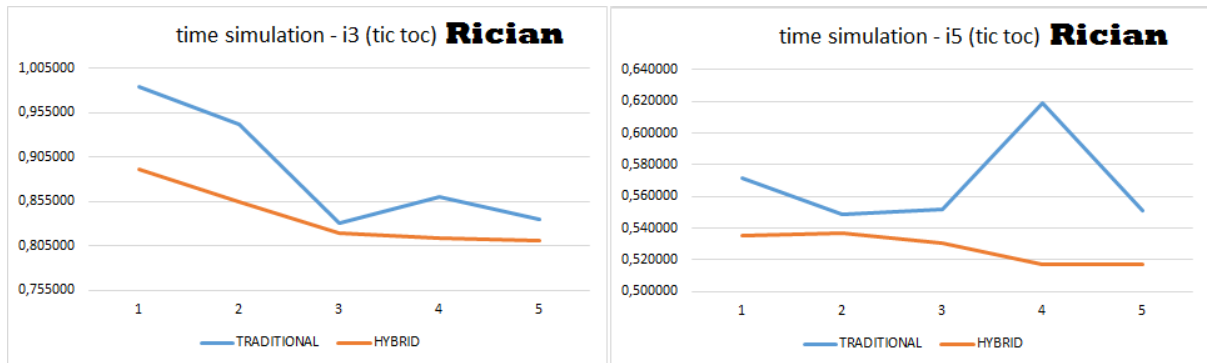


Figura 36 – Função tic toc modelo DBPSK Rician

5.1.2 Função *Sldiagnostics*

A função *sldiagnostics* exibe informações de diagnóstico sobre o sistema modelado no Simulink®, tais como: a quantidade de cada tipo de bloco utilizado, as quantidades de estados, saídas, entradas e tempos de amostragem do modelo, nomes das bibliotecas utilizadas assim como suas referências e instâncias dos blocos referenciados, e o tempo e memória utilizados em cada fase de compilação do modelo.

Em especial, na função *sldiagnostics*, é definido o parâmetro *CompileStats*, que retorna as informações sobre o tempo e uso de memória em *txtRpt* and *sRpt*, sobre o modelo, este sendo passado como outro parâmetro da função.

A lógica para o cálculo do tempo gasto do modelo simulado está sobre a variável *ElapsedTime* que recebe a soma do parâmetro *WallClockTime*, sendo este, o responsável pela contabilidade do tempo gasto em cada fase da simulação do modelo, **em segundos**, sobre as estatísticas da variável *sRpt*, somando assim, **todo o tempo real do modelo** em simulação. Essa função também detalha o tempo usado na simulação em cada processo de construção do modelo. Sua sintaxe pode ser vista na Figura 37.

```
[txtRpt, sRpt] = sldiagnostics('modelo ', 'CompileStats')
```

Figura 37 – Sintaxe *sldiagnostics*

5.1.2.1 Modelo DQPSK

Nesta sessão, serão exibidos os gráficos com os resultados obtidos sobre os modelos desenvolvidos, modulados em DQPSK, onde no eixo y está o tempo simulado e no eixo x estão as respectivas simulações, sobre a análise do tempo de simulação por meio da função *sldiagnostics*, previamente explicada na sessão anterior, segundo Figuras 38, 39 e 40 respectivamente.

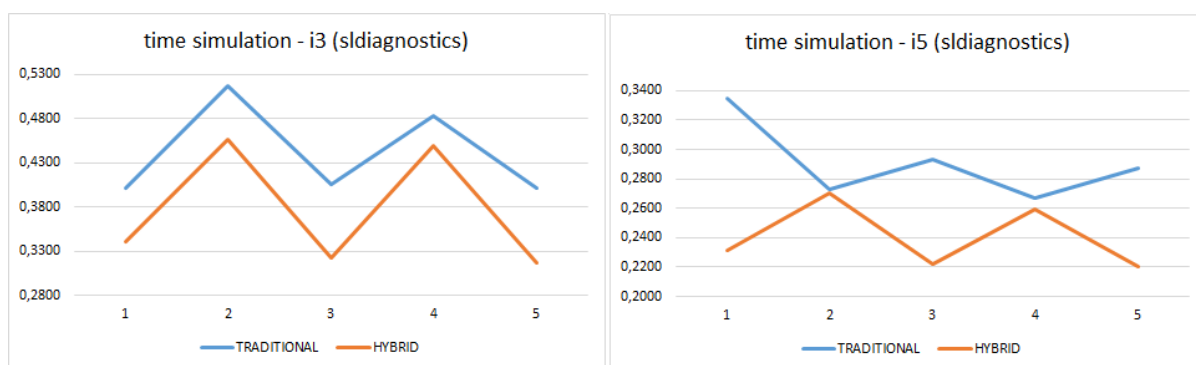


Figura 38 – Função *sldiagnostics* modelo DQPSK

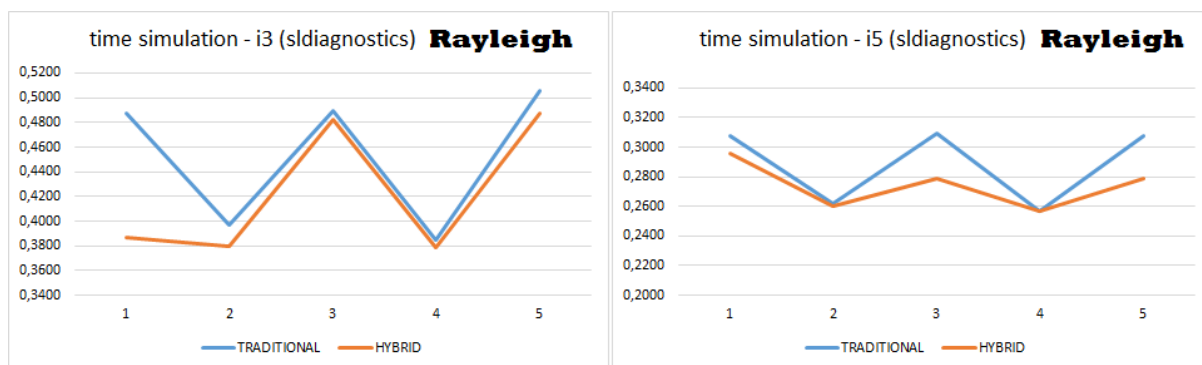


Figura 39 – Função *sldiagnostics* modelo DQPSK Rayleigh

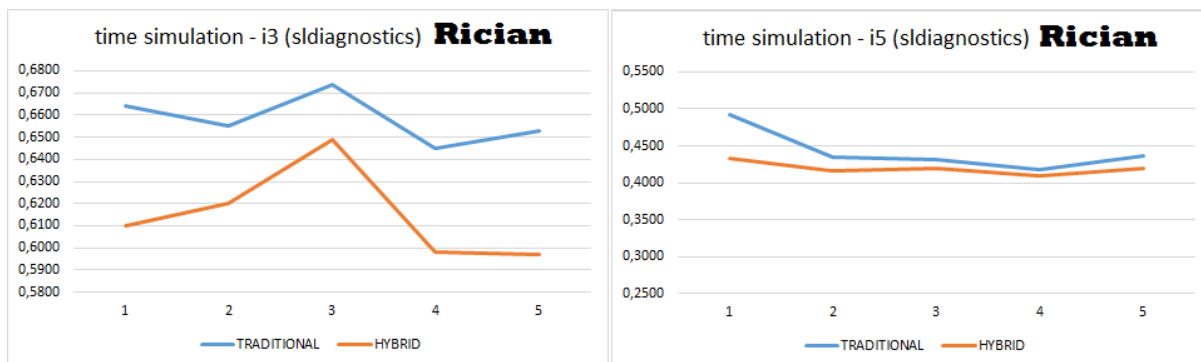


Figura 40 – Função sldiagnostics modelo DQPSK Rician

5.1.2.2 Modelo DBPSK

Do mesmo modo, nesta sessão serão exibidos os gráficos com os resultados obtidos sobre os modelos desenvolvidos e modulados em DBPSK neste trabalho, seguindo a mesma representatividade nos gráficos, sobre a análise do tempo de simulação por meio da função sldiagnostic, segundo Figuras 41, 42 e 43 respectivamente.

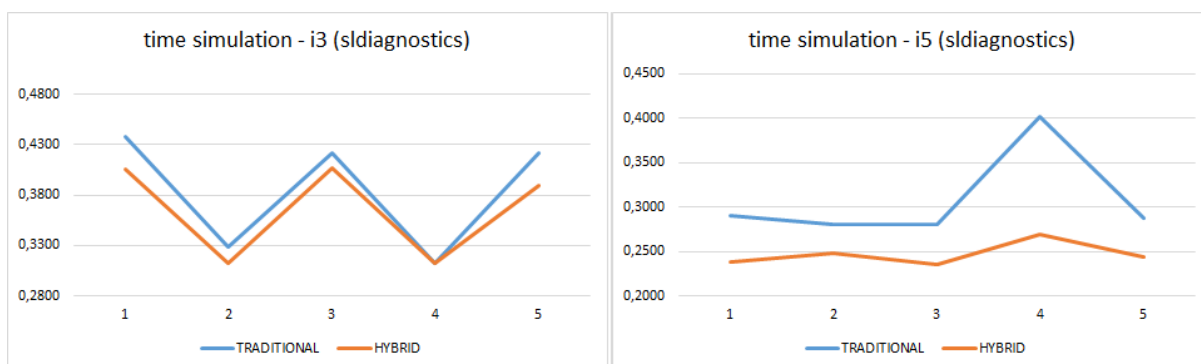


Figura 41 – Função sldiagnostics modelo DBPSK

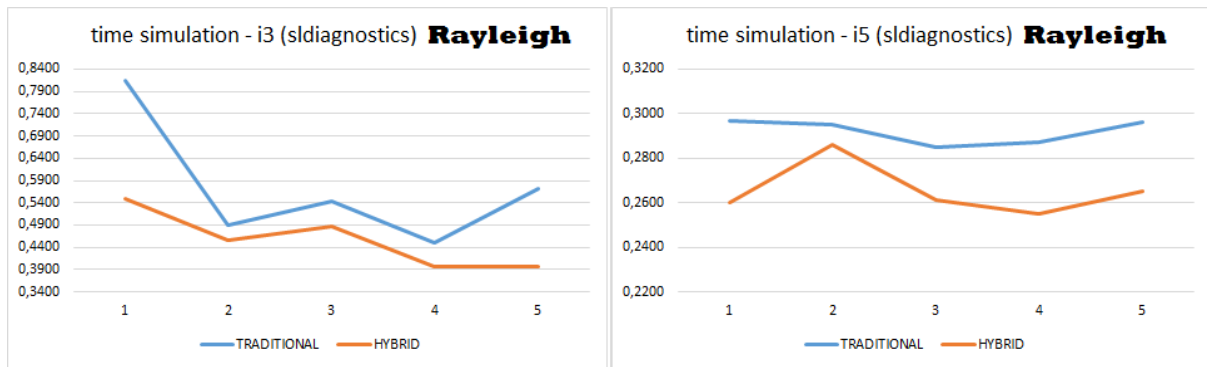


Figura 42 – Função *sldiagnostics* modelo DBPSK Rayleigh

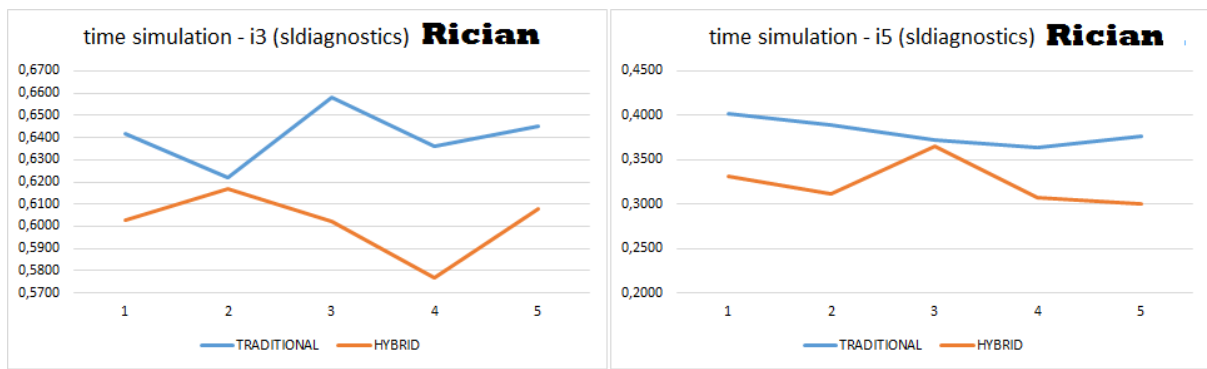


Figura 43 – Função *sldiagnostics* modelo DBPSK Rician

5.1.3 Função *Cputime*

Também foi utilizado o comando ***cputime*** que retorna o tempo total da CPU (**em segundos**) usado pela aplicação em uso no MATLAB[®] desde o momento em que foi iniciado. Contudo é aconselhável medir o tempo do modelo usando ***tic*** e ***toc***. A sintaxe dessa função pode ser vista na Figura 44.

```
t = cputime;
sim('modelo', tempo simulação)
e = cputime-t
```

Figura 44 – Sintaxe *cputime*

5.1.3.1 Modelo DQPSK

Nesta sessão, serão apresentados os gráficos com os resultados obtidos sobre os modelos desenvolvidos e modulados em DQPSK, onde no eixo y está o tempo simulado e no eixo x estão as respectivas simulações, sobre a análise do tempo de simulação por meio da função `cputime`, previamente explicada na sessão anterior, segundo Figuras 45, 46 e 47 respectivamente.

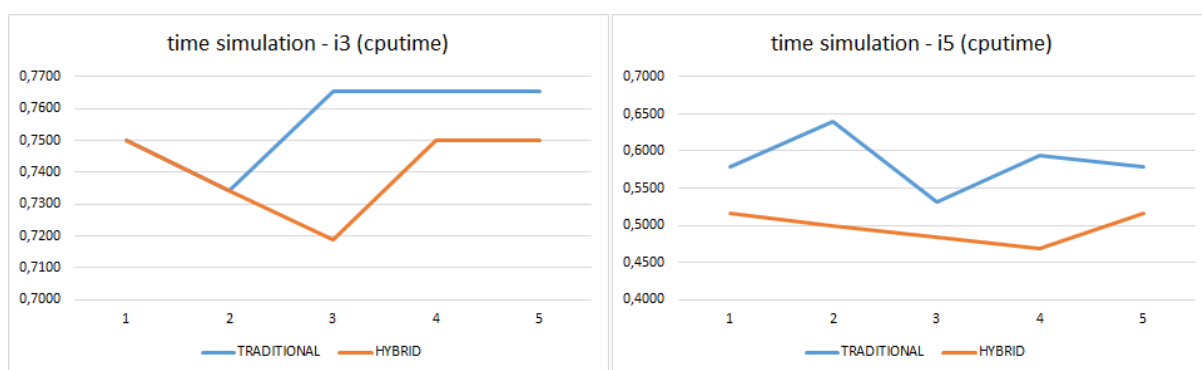


Figura 45 – Função `cputime` modelo DQPSK

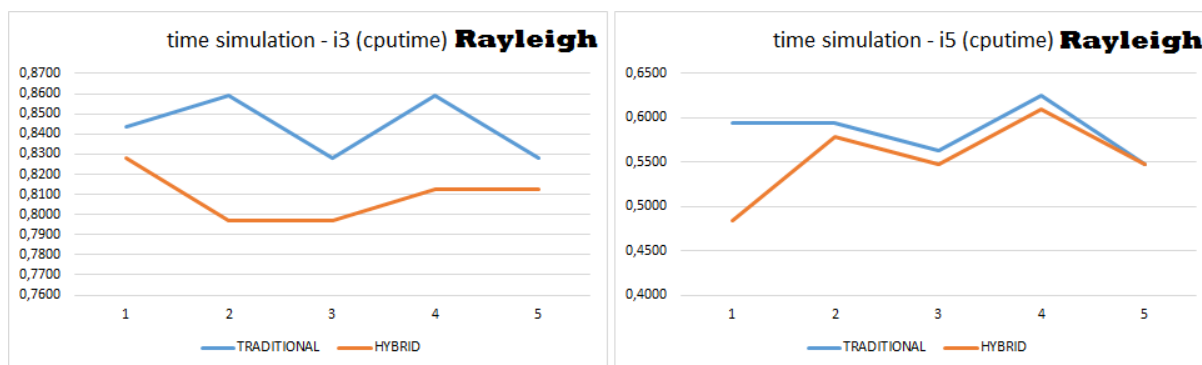


Figura 46 – Função `cputime` modelo DQPSK Rayleigh

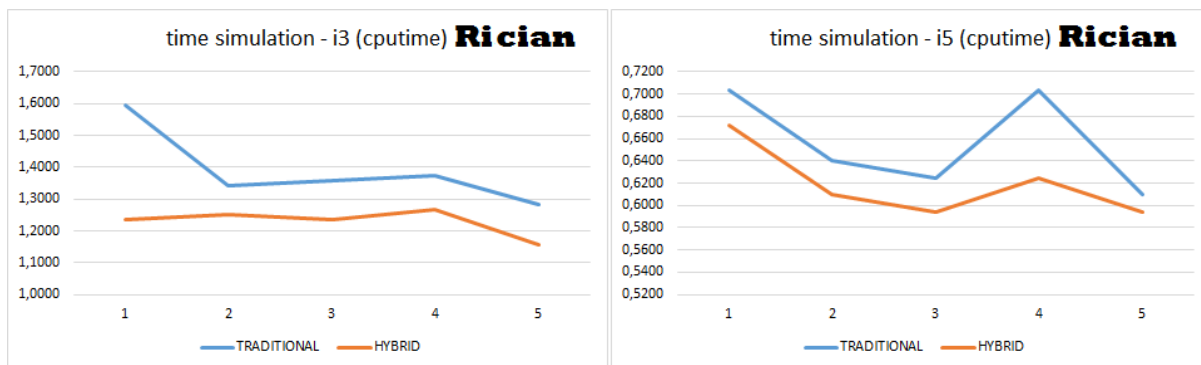


Figura 47 – Função cputime modelo DQPSK Rician

5.1.3.2 Modelo DBPSK

Da mesma forma, nesta sessão serão exibidos os gráficos com os resultados obtidos sobre os modelos desenvolvidos e modulados em DBPSK, seguindo a mesma representatividade nos gráficos, sobre a análise do tempo de simulação por meio da função cputime, segundo Figuras 48, 49 e 50 respectivamente.

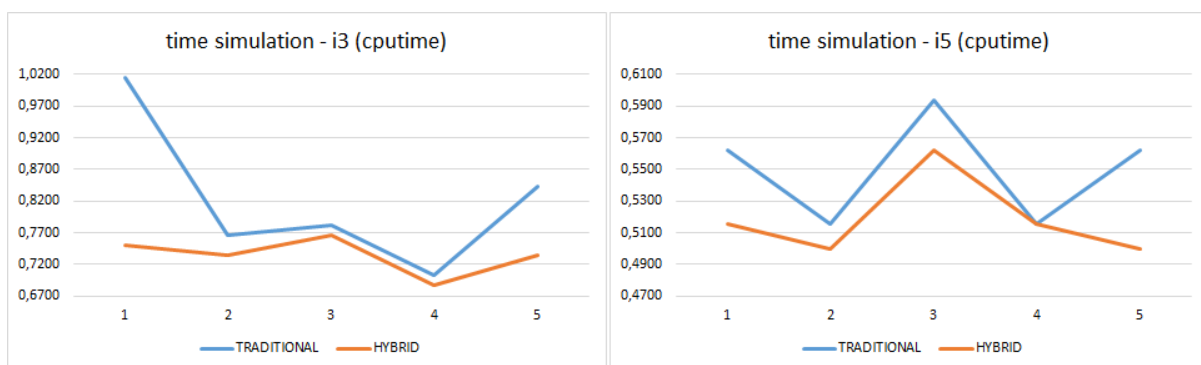


Figura 48 – Função cputime modelo DBPSK

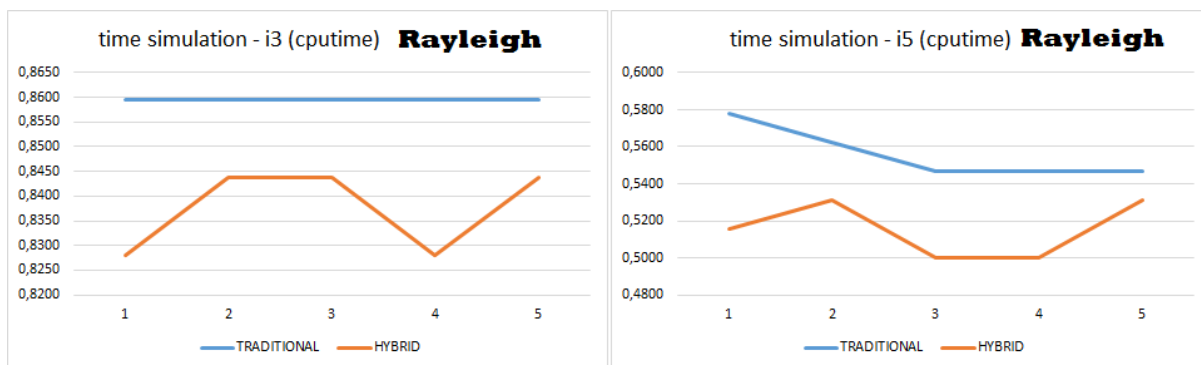


Figura 49 – Função cputime modelo DBPSK Rayleigh

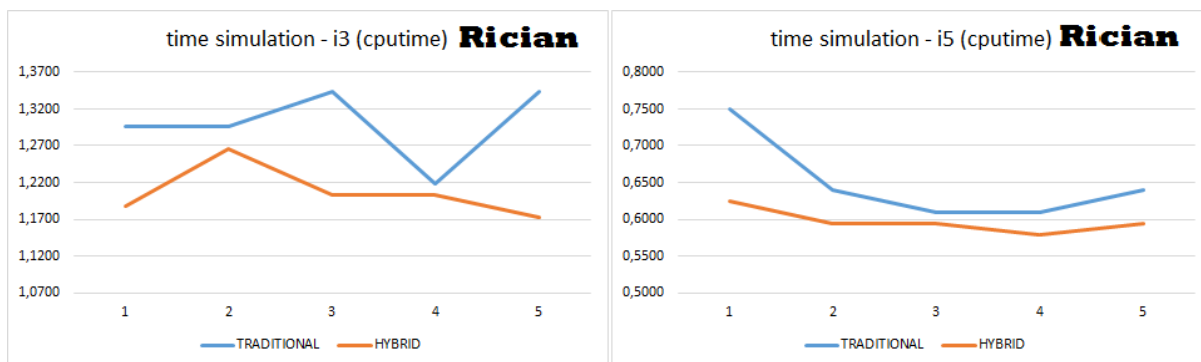


Figura 50 – Função cputime modelo DBPSK Rician

5.1.4 Primeira Simulação de Tempo

Foi analisada a primeira simulação de ambos os modelos em cada comando, pois é na primeira simulação que a construção do modelo em ambiente virtual é realizada do zero, é nela onde todas as variáveis do modelo são alocadas, a memória do sistema operacional em que o Matlab está sendo executado é reservada para a execução do modelo e os resultados deste modelo, segundo os parâmetros de avaliação são, de fato, reais. Os valores obtidos sobre os modelos desenvolvidos e modulados em DQPSK e DBPSK podem ser visualizados nas Figuras 51, 52 e 53 na sessão 5.1.4.1 e Figuras 54, 55 e 56 na sessão 5.1.4.2, respectivamente.

5.1.4.1 Modelo DQPSK

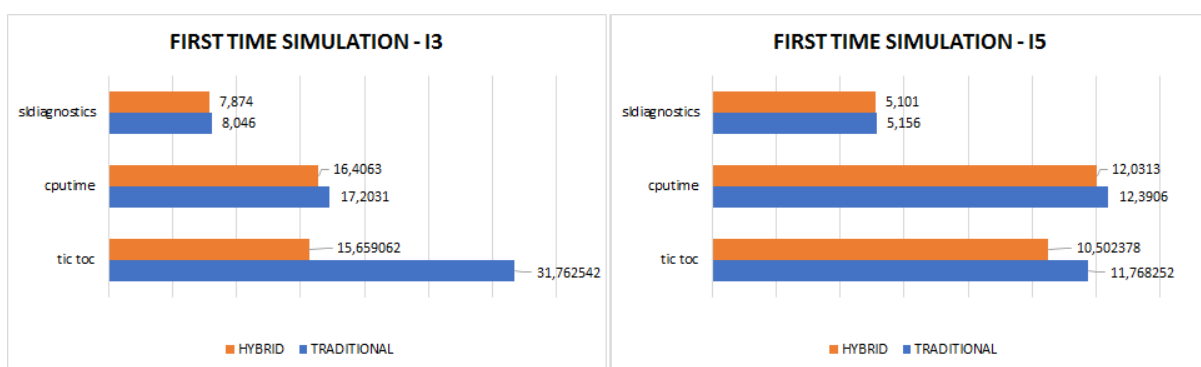


Figura 51 – Primeira simulação (tempo) modelo DQPSK

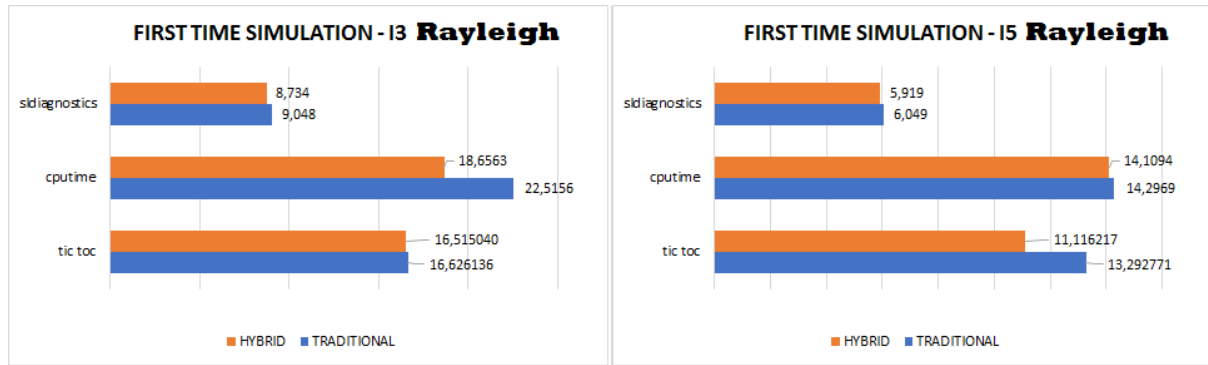


Figura 52 – Primeira simulação (tempo) modelo DQPSK Rayleigh

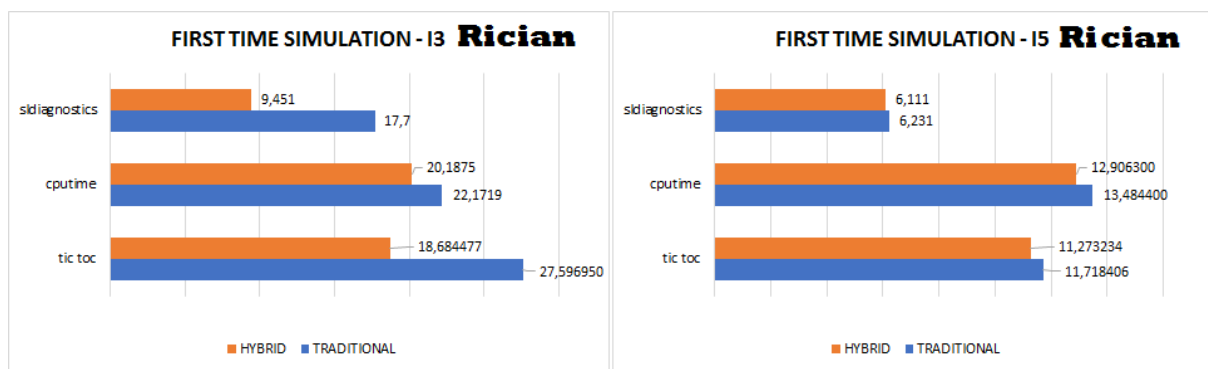


Figura 53 – Primeira simulação (tempo) modelo DQPSK Rician

5.1.4.2 Modelo DBPSK

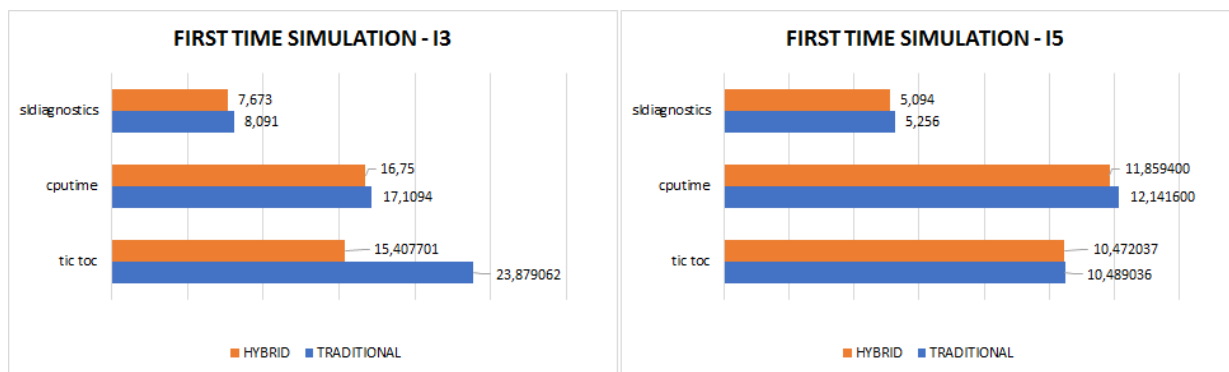


Figura 54 – Primeira simulação (tempo) modelo DBPSK

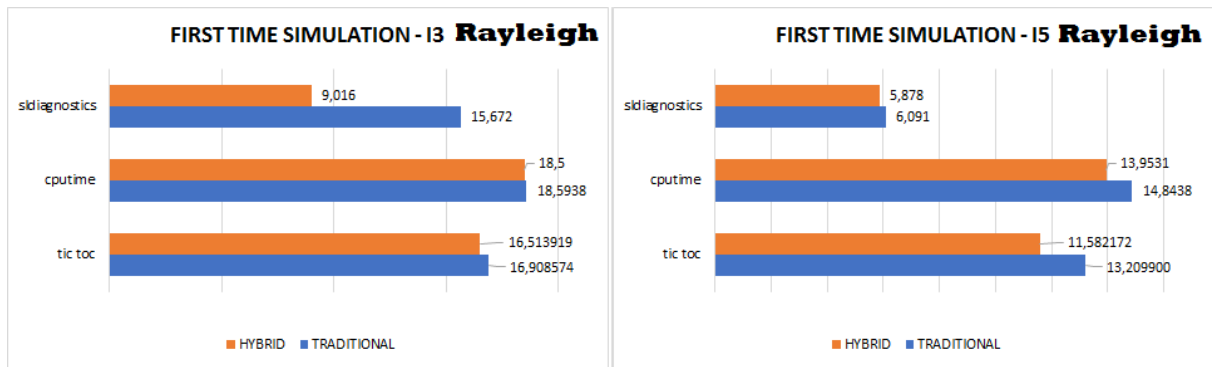


Figura 55 – Primeira simulação (tempo) modelo DBPSK Rayleigh

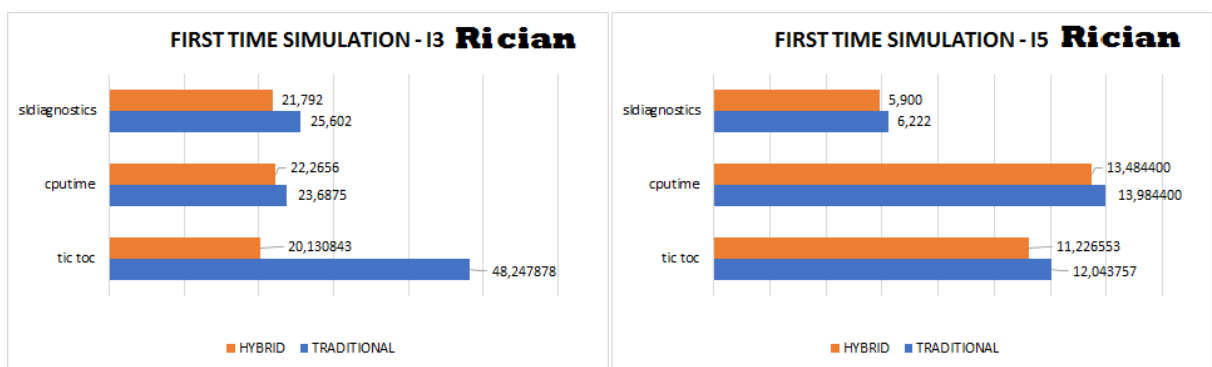


Figura 56 – Primeira simulação (tempo) modelo DBPSK Rician

5.1.5 Tempo de Simulação vs Tempo de Computação

Um ponto importante analisado, foi a interação com o disco rígido, onde é necessário ter ciência sobre o tempo de inatividade durante a espera que um disco precisa para realizar o seu tempo de computação, isso é chamado e conhecido como clock. A função **tic** e **toc** usa o tempo do clock e considera este tempo de inatividade. Já a função **cputime** não.

Para essa análise, foi pesquisado e desenvolvida uma lógica para visualização desses conceitos, vista na Figura 57, e seu resultado (em segundos) na Figura 58.

```
>> tic;
time_init = cputime;
clock1 = clock;
pause(1.0); % Espera de 1 segundo;
end_time = cputime;
elapsed = toc;
clock2 = clock;
fprintf('tic toc: %g\n', elapsed);
fprintf('time cpu: %g\n', end_time - time_init);
fprintf('clock: %g\n', etime(clock2, clock1));
```

Figura 57 – Lógica comparativa comandos

```
tic toc: 1.01105
time cpu: 0.140625
clock: 1.01
>>
```

Figura 58 – Resultado da lógica comparativa comandos

A função **tic** e **toc** mede o tempo decorrido que o modelo teve, ou seja, seu tempo de simulação. Já a função **cputime**, faz algo semelhante, mas calculando o tempo de computação do modelo, aplicada em um sistema *multi-core*, como os processadores i3 e i5 utilizados, sendo nada mais, que a eficiência do modelo em si, considerando que a estrutura do *Matlab*® é feita para paralelismo.

5.2 Avaliação do Consumo de Memória

O consumo de memória, foi escolhido como parâmetro de avaliação pelo fator que em um mundo cada vez mais digital e exigente, é necessário o desenvolvimento de metodologias que realizem as tarefas consumindo cada vez menos os recursos do dispositivo.

Para o cálculo de memória, foi utilizado a função **sldiagnostics**, apresentando um raciocínio parecido quanto ao cálculo de tempo, mostrado anteriormente, onde a variável **TotalMemory** recebe a soma de todos os processos de consumo de memória usados no modelo em simulação, pelo parâmetro **ProcessMemUsage**, que contabiliza a quantidade de memória usada em cada fase do modelo, durante toda a simulação, gerando na variável receptora a quantia total **em MB (megabyte)**.

Os valores relativos a análise pela função **sldiagnostics** sobre os modelos desenvolvidos e modulados em DQPSK e DBPSK podem ser visualizados nas Figuras 59, 60 e 61 na sessão 5.2.1 e Figuras 62, 63 e 64 na sessão 5.2.2, respectivamente

5.2.1 Modelo DQPSK

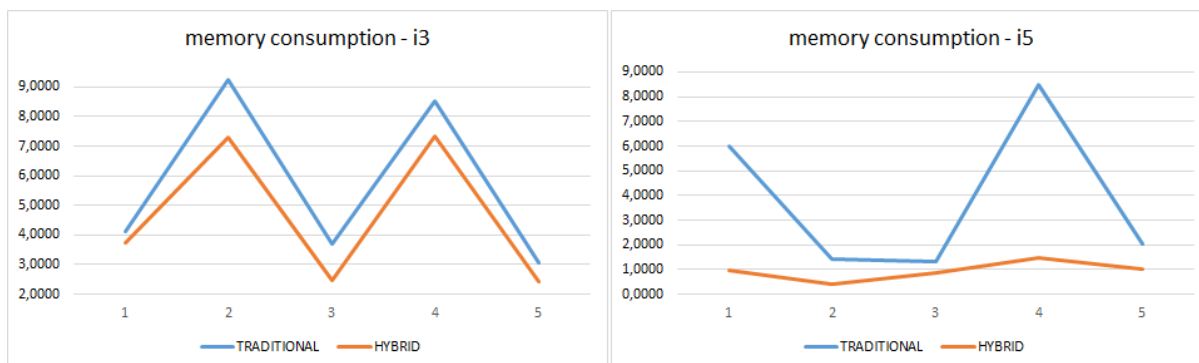


Figura 59 – Consumo de memória modelo DQPSK

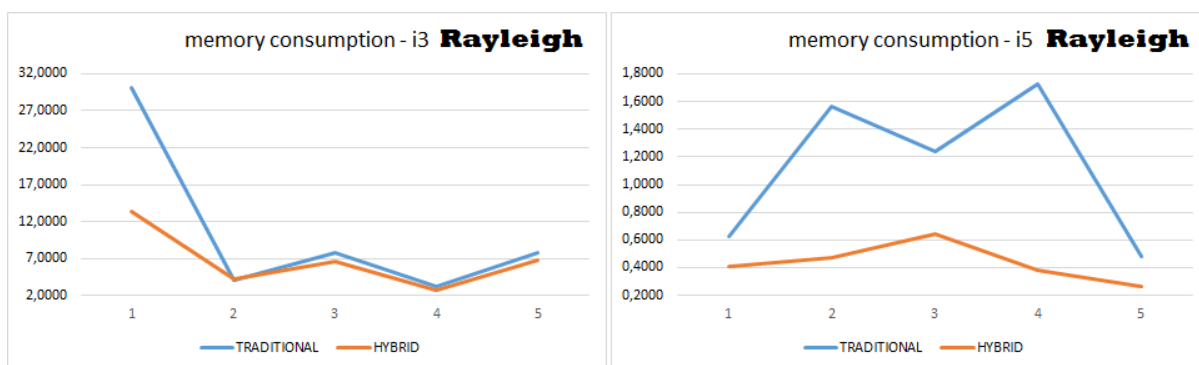


Figura 60 – Consumo de memória modelo DQPSK Rayleigh

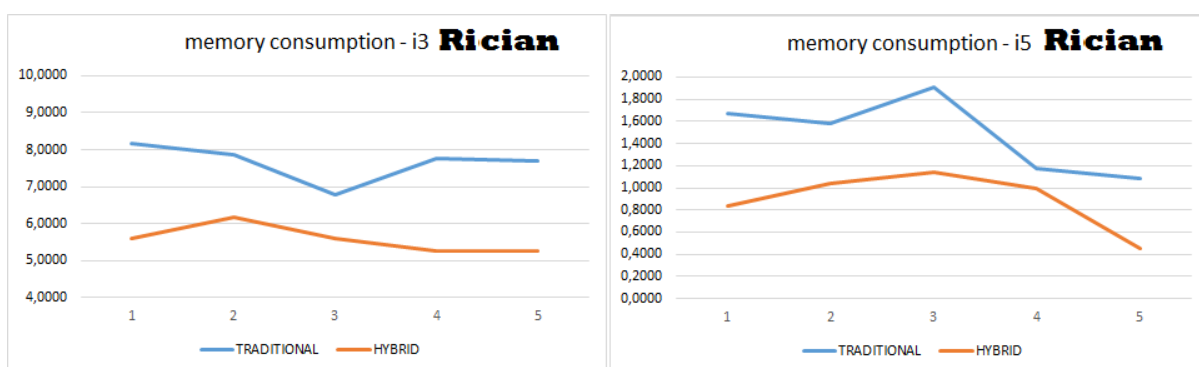


Figura 61 – Consumo de memória modelo DQPSK Rician

5.2.2 Modelo DBPSK

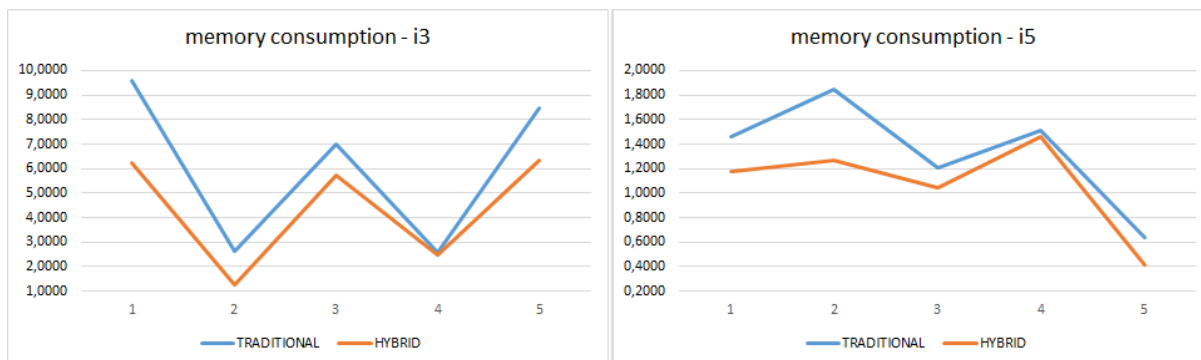


Figura 62 – Consumo de memória modelo DBPSK

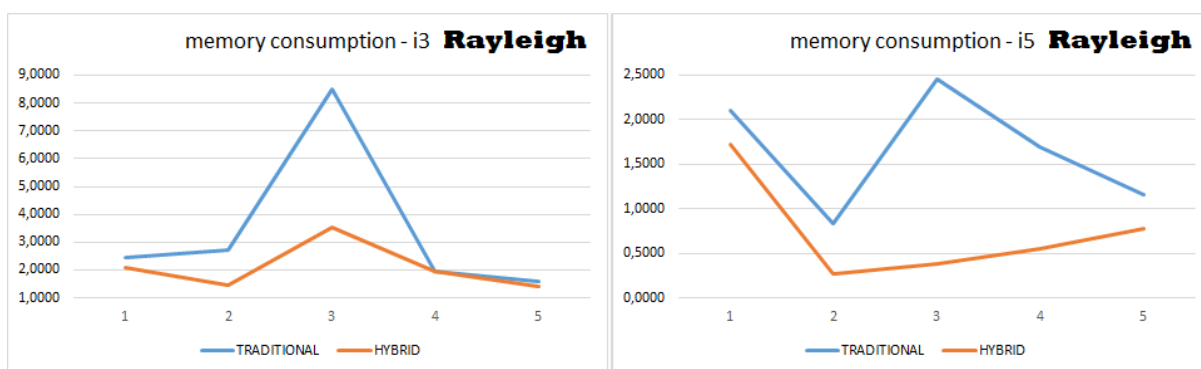


Figura 63 – Consumo de memória modelo DBPSK Rayleigh

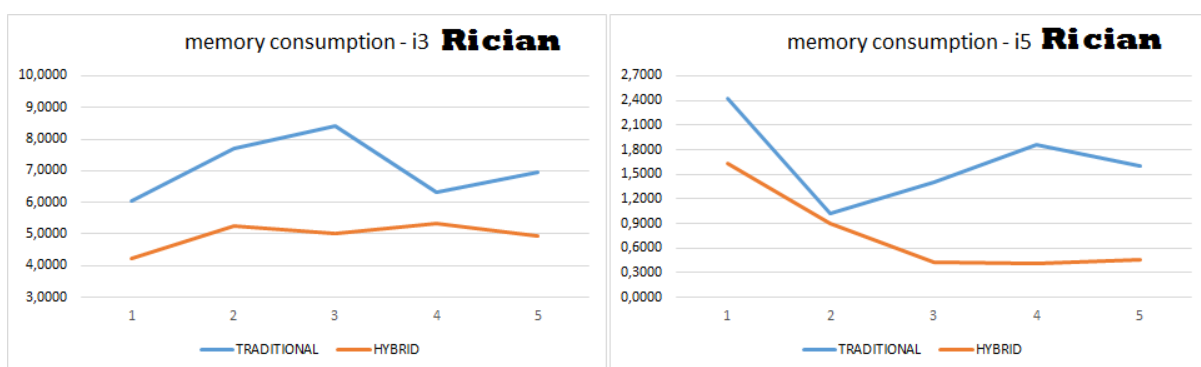


Figura 64 – Consumo de memória modelo DBPSK Rician

5.2.3 Primeira Simulação de Memória

Similarmente, também foi observada a primeira simulação dos modelos em relação ao seu consumo de memória, apresentado segundo Figuras 65, 66 e 67 na sessão 5.2.3.1 e Figuras

68, 69 e 70 na sessão 5.2.3.2, tendo melhor desempenho como mostrado na Tabela 2 e relacionado com as Figuras das seções 5.1.4.1 e 5.1.4.2.

Melhoria no Consumo de Memória		
Máquinas	i3	i5
Modelo DQPSK	24,20%	9.61%
Modelo DQPSK Rayleigh	26,59%	9.51%
Modelo DQPSK Rician	22,85%	11,65%
Modelo DBPSK	22,01%	9,22%
Modelo DBPSK Rayleigh	29,72%	9,36%
Modelo DBPSK Rician	34,35%	11,48%

Tabela 2. Melhoria computacional

5.2.3.1 Modelo DQPSK

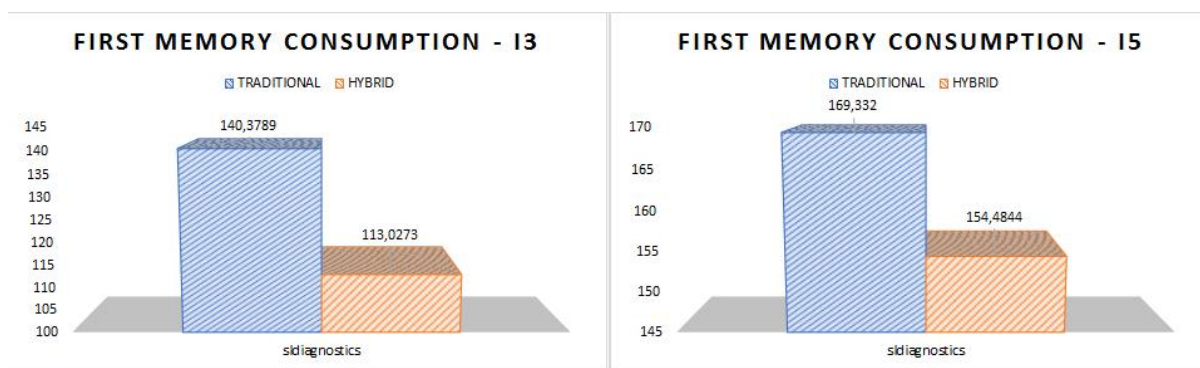


Figura 65 – Primeira simulação (memória) modelo DQPSK

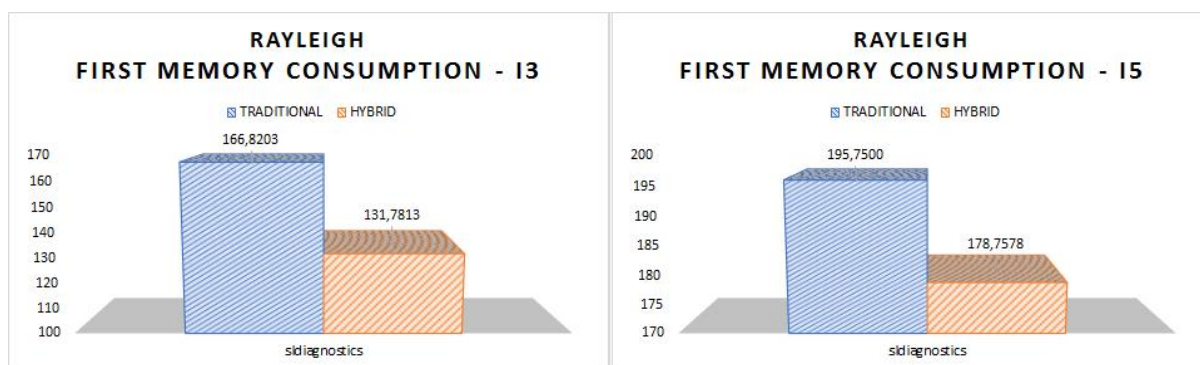


Figura 66 – Primeira simulação (memória) modelo DQPSK Rayleigh

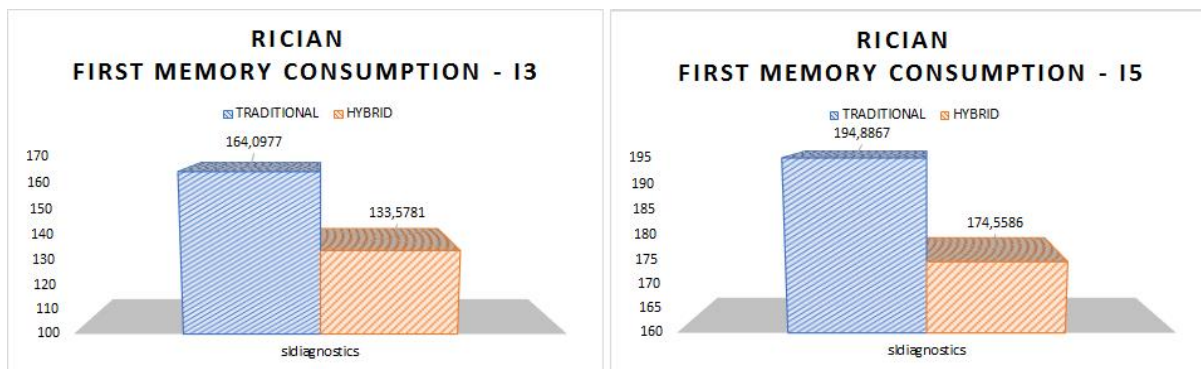


Figura 67 – Primeira simulação (memória) modelo DQPSK Rician

5.2.3.2 Modelo DBPSK

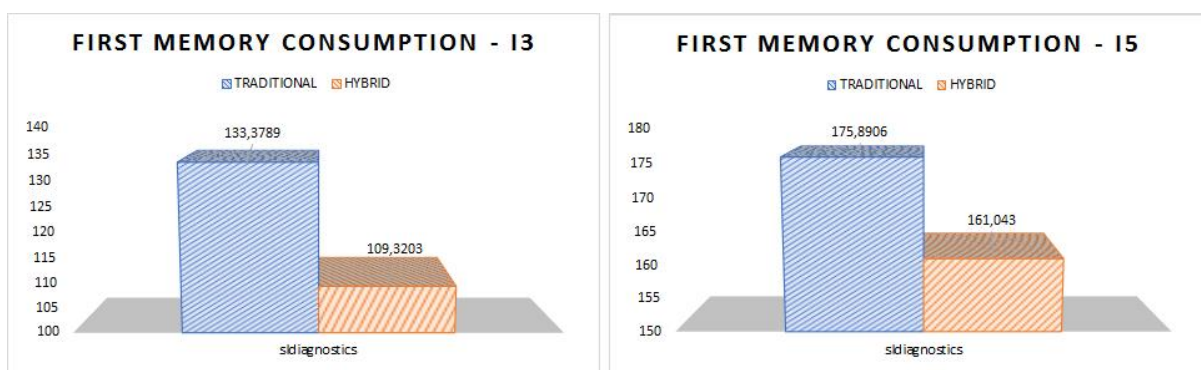


Figura 68 – Primeira simulação (memória) modelo DBPSK

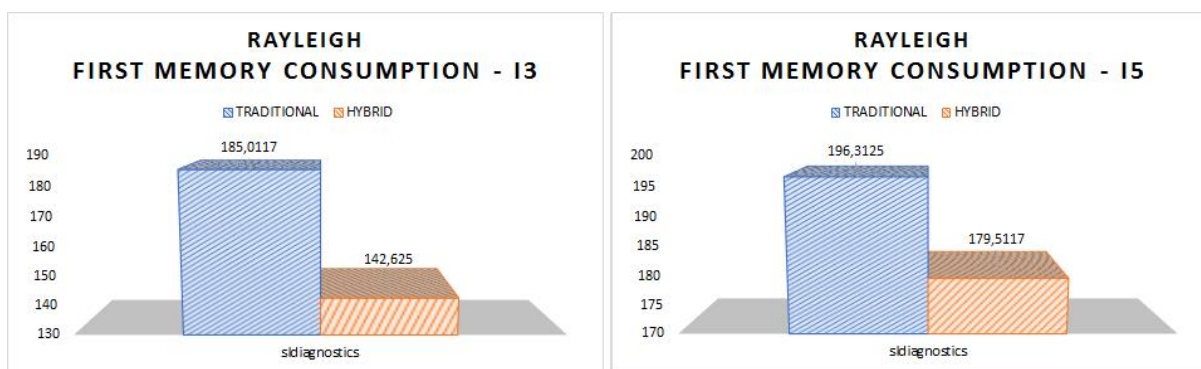


Figura 69 – Primeira simulação (memória) modelo DBPSK Rayleigh

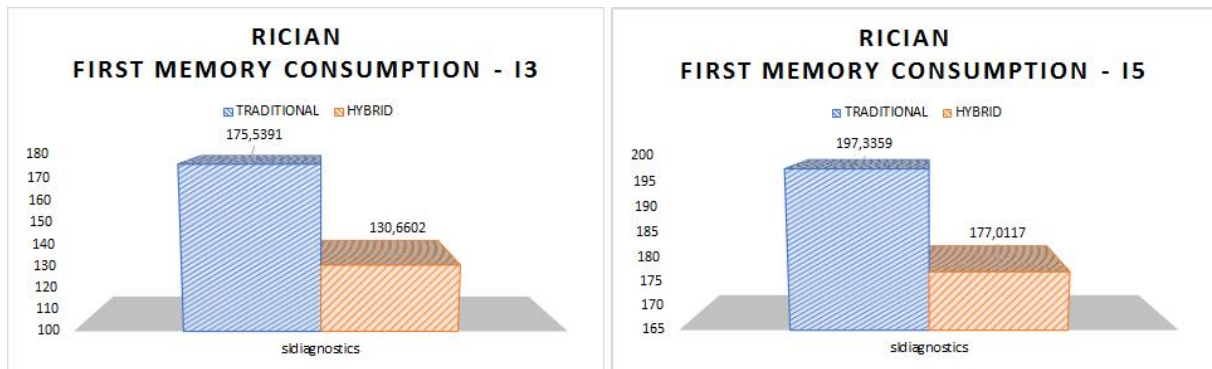


Figura 70 – Primeira simulação (memória) modelo DBPSK Rician

Também pode-se notar que a proposta reduziu praticamente todo o consumo de memória resultante do desvanecimento multipercurso Rayleigh e Rician, nos modelos simulados com tais distribuições e em ambas máquinas, como apresentado nas Tabelas 3 e 4.

	i3	
	Metodologia Tradicional	Proposta (Hybrid)
Modelo DQPSK	140,3789	113,0273
Modelo DQPSK Rayleigh	166,8203	131,7813
Modelo DQPSK Rician	164,0977	133,5781
Modelo DBPSK	133,3789	109,3203
Modelo DBPSK Rayleigh	185,0117	142,6250
Modelo DBPSK Rician	175,5391	130,6602

Tabela 3. Relação de consumo de memória em i3 (em MB)

	i5	
	Metodologia Tradicional	Proposta (Hybrid)
Modelo DQPSK	169,3320	154,4844
Modelo DQPSK Rayleigh	195,7500	178,7578
Modelo DQPSK Rician	194,8867	174,5586
Modelo DBPSK	175,8906	161,043
Modelo DBPSK Rayleigh	196,3125	179,5117
Modelo DBPSK Rician	197,3359	177,0117

Tabela 4. Relação de consumo de memória em i5 (em MB)

5.3 BER (Bit Error Rate)

Para analisar a relação da proposta da pré-codificação implementada em um dos modelos com o impacto na camada física do canal, foi utilizado para esse fim, o comando

semilogy. Esse comando traça parâmetros específicos de cada objeto desejado usando escala de log para o eixo y, a qual é ideal para visualização da escala BER, assim permitindo a análise do desempenho da taxa de erro de bit (BER) em sistemas de comunicações.

Nas Figuras 71, 72, 73, 74, 75 e 76 a seguir é exibido o desempenho dos modelos apresentados, segundo sua relação sinal-ruído, conforme temática deste do estudo e pesquisa apresentados, ao longo de uma transmissão com ruído variando de 0 a 60dB, considerando simulações de 10^{-6} segundos para geração dos resultados.

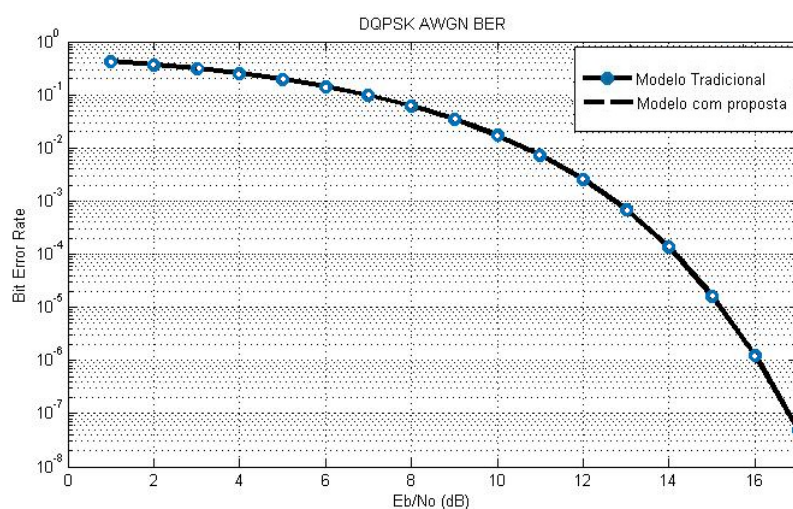


Figura 71 – Performance DQPSK BER

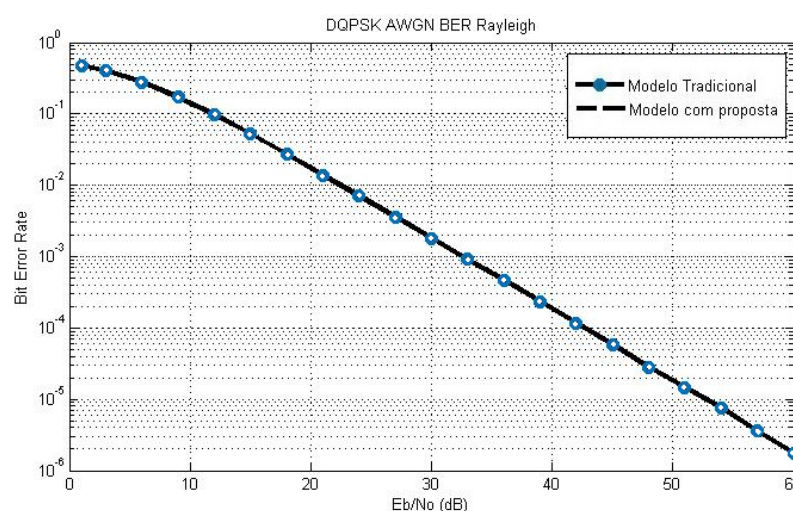


Figura 72 – Performance DQPSK Rayleigh BER

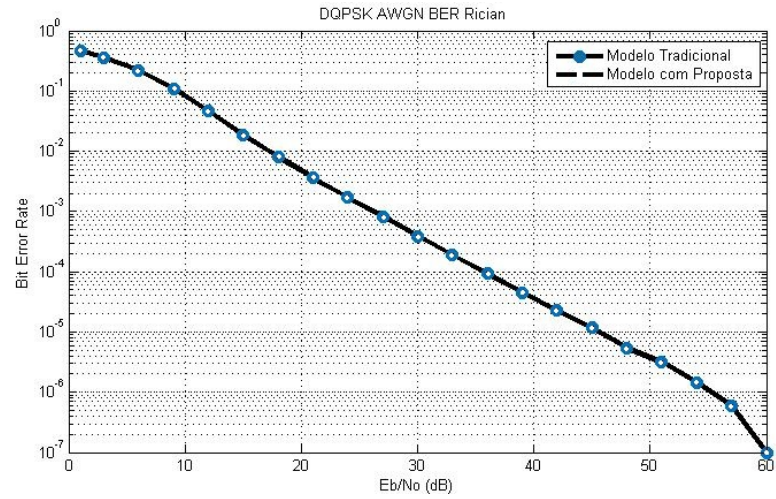


Figura 73 – Performance DQPSK Rician BER

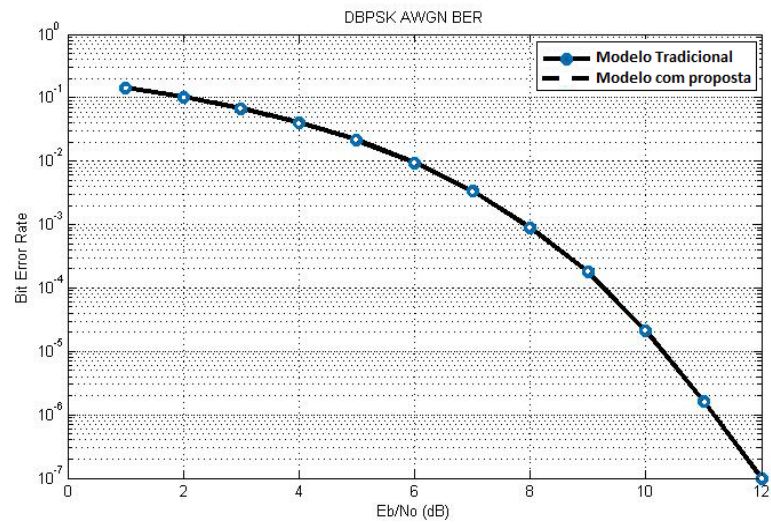


Figura 74 – Performance DBPSK BER

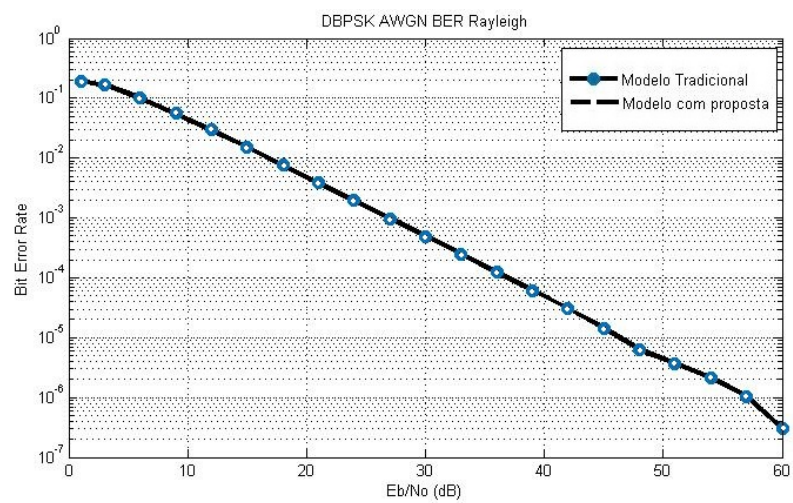


Figura 75 – Performance DBPSK Rayleigh BER

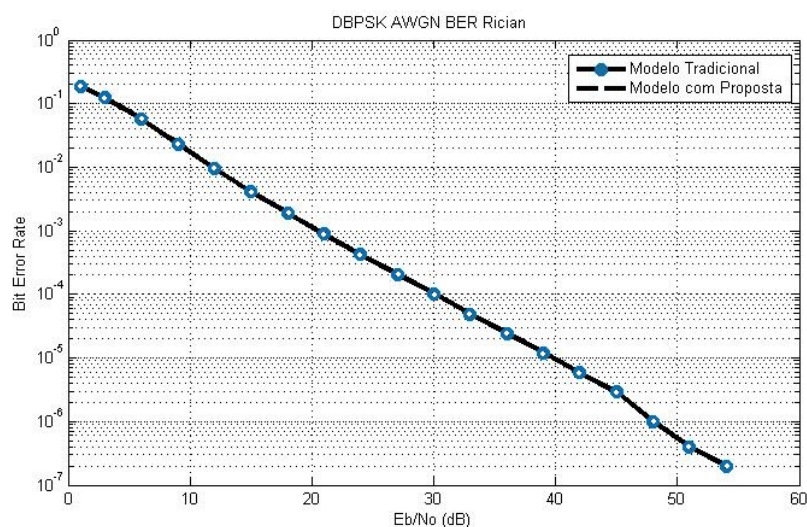


Figura 76 – Performance DBPSK Rician BER

5.4 Síntese do Capítulo 5

Como pode ser visto nas sessões 5.1.1.1 e 5.1.1.2 segundo as Figuras 31, 32, 33, 34, 35 e 36; nas sessões 5.1.2.1 e 5.1.2.2 de acordo com as Figuras 38, 39, 40, 41, 42 e 43; nas sessões 5.1.3.1 e 5.1.3.2 consoante as Figuras 45, 46, 47, 48, 49 e 50; nas sessões 5.1.4.1 e 5.1.4.2 segundo as Figuras 51, 52, 53, 54, 55 e 56; nas sessões 5.2.1 e 5.2.2 conforme as Figuras 59, 60, 61, 62, 63 e 64; na sessão 5.2.3 segundo Tabela 2; nas sessões 5.2.3.1 e 5.2.3.2 de acordo as Figuras 65, 66, 67, 68, 69 e 70 e Tabelas 3 e 4, a proposta com a metodologia de eventos discretos em ambas máquinas com diferentes configurações de *hardware*, avaliadas sobre o consumo de memória, o tempo de simulação e o tempo de computação, obteve melhores resultados, sendo eles mais e menos expressivos, respectivamente, quando comparados com um sistema de telecomunicações com a metodologia tradicional, seja em sua primeira simulação ou ao longo da sequência de 5 simulações.

Também pode-se entender neste capítulo que se em um canal de transmissão contendo a proposta e em outro a metodologia tradicional, passaram o mesmo conteúdo de informação (quantidade de bits), sem nenhuma perda (sinal e constelação) e com a mesma qualidade (BER). O resultado da proposta foi a compressão da informação.

Assim, o uso de eventos discretos aplicados em um baixo nível de abstração, como a geração de bits em sistemas de telecomunicações, realizou um tratamento dos bits antes do seu processo de modulação, funcionando como um processo de pré-codificação diferenciado, obtendo resultados satisfatórios.

E como pode ser visto, como resultado adicional os modelos orientados para sistemas de telecomunicação móvel com a proposta, sendo este a idealização em canais wireless, igualizando seu consumo de recursos para um canal sem as técnicas Rayleigh e Rician, contendo todos os benefícios e características da propagação pelos múltiplos caminhos presentes variando de forma aleatória segundo cada distribuição da intensidade do sinal aplicada, sem o consumo adicional de memória causado pela sua complexidade.

6 CONCLUSÕES

O entendimento mais claro assim como a visualização do potencial da técnica de eventos discretos, foi proporcionado de uma ampla pesquisa bibliográfica realizada sobre os últimos 20 anos. Assim foi possível reafirmar a importância e aplicação da metodologia estudada, a qual apresentou uso em uma grande variedade de sistemas de telecomunicações. Entretanto, essas aplicações mostraram uso da técnica em um alto nível de abstração.

Perante isso, houve a motivação para o desenvolvimento da proposta de uma metodologia com eventos discretos atuando em um baixo nível de abstração em um sistema de telecomunicações com maior qualidade computacional. Assim foram desenvolvidos modelos híbridos de simulação, escolhendo como parâmetros de avaliação o tempo de simulação e o consumo de memória.

Avaliando esses resultados nota-se que os objetivos deste trabalho foram alcançados quanto ao desenvolvimento da proposta, por meio de uma abordagem diferente da convencional, agindo no menor nível de abstração possível, onde em um canal de transmissão foram criadas entidades discretas no processo de geração dos *bits*.

Sendo assim, a metodologia proposta apresentou resultados positivos os quais afirmam claramente um melhor desempenho quanto ao consumo da memória e o tempo de simulação, em todos os cenários analisados, quando comparado com a metodologia tradicional. Dessa forma a extensão desses resultados, sendo a compressão da informação, tem um forte impacto em métodos realizados em camadas mais altas, podendo melhorá-los ainda mais, desde que a proposta atua sobre os *bits*.

Os resultados adicionais mostraram o potencial para futuro desenvolvimento da proposta sobre sistemas MIMO com multipercorso Rayleigh e Rician, onde este é considerado dentro do contexto NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access), o futuro acesso celular via rádio, o 5G

7 TRABALHOS FUTUROS

Considerando a ampla aplicabilidade e importância da metodologia proposta, aliada a necessidade constante de avanços tecnológicos para criações e/ou otimizações de sistemas de telecomunicações, esse trabalho tem sua continuidade relacionada a estudos e testes em outros formatos de modulação, assim como sua aplicação em outros tipos de sistemas de telecomunicações.

Assim como aplicar e explorar a proposta e as suas características em sistemas de telecomunicação MIMO/NOMA, como também em outros tipos de sistemas de telecomunicação; sobre outros formatos de modulação, para fins de maior ganho de compressão da informação. Sendo um desses formatos de modulação 16/64/128 QAM (retangular) visando a aplicação da proposta em sistemas broadcasting.

E também, a metodologia apresentada neste trabalho trata apenas do *bit* 0, portanto será necessária a implementação de uma proposta sobre o *bit* 1.

8 REFERÊNCIAS

- [1] Digital Modulation in Communications Systems — An Introduction, Agilent Technologies
- [2] Forrester, J.W., 1968. 'Industrial Dynamics - After the First Decade'. *Management Science*, 14(7), pp. 398-415.
- [3] Helal, M. 2008. "A Hybrid System Dynamics-Discrete Event Simulation Approach to Simulating the Manufacturing Enterprise." PhD Thesis, Department of Industrial Engineering and Management Systems, College of Engineering and Computer Science, University of Central Florida.
- [4] L.W. Couch II, *Digital and Analog Communication Systems*, 8th Edition, Prentice Hall, 2013.
- [5] Padilha, R. and Martins, B. I. and Moschim, E., 2016. "Discrete Event Simulation and Dynamical Systems: A study of art". *BTSym'16*, Campinas, SP – Brasil, December 2016.
- [6] Roger L. Freeman, *Fundamentals of Telecommunications*, John Wiley & Sons, 1999.
- [7] Roger L. Freeman, *Telecommunication System Engineering*, 4th Edition, John Wiley & Sons, 2004.
- [8] John G. Proakis (2008). *Digital Communications*, 5rd edition, McGraw-Hill.
- [9] Pereira, F. T., Takano, A. M., Leal, F. e Pinho, F. A., 2013. "Aplicação Da Simulação A Eventos Discretos Em Um Ambiente Hospitalar Visando A Melhoria No Processo De Atendimento". *XLVSBPO*, Natal, RN – Brasil.
- [10] Pissinelli, J. G., Risso, L. A., Picanco, S. R. A., Ignacio, A. S. P. e Silva, L. A. 2015. "Modelo De Simulação De Eventos Discretos Para Análise De Fluxo De Veículos". *ENEGEP*, Fortaleza, CE – Brasil.
- [11] Rangel, J.J.A., Costa, J.V.S., Laurindo, Q.M.G., Peixoto, T.A. e Matias, I.O. "Análise do fluxo de operações em um servidor de e-mail através de simulação a eventos discretos com o software livre Ururau". *Produto & Produção*, vol. 17, n. 1, p. 1-12, mar. 2016
- [12] Gomes, E.N., Fernandes, M.S.R., Campos, C.A.V., Viana, A.C. "Um Mecanismo de Remoção de Mensagens Obsoletas para as Redes Tolerantes a Atrasos e Interrupções". *CSBC*, 2012.

- [13] Godoy, E.P., Lopes, W.C., Sousa, R.V. e Porto, A.J.V. "Modelagem E Simulação De Redes De Comunicação Baseadas No Protocolo Can - Controller Area Network". Revista SBA: Controle & Automação, Vol.21 no.4, 2010.
- [14] Sharda, B and Bury, J. S. 2008. "A Discrete Event Simulation Model For Reliability Modeling Of A Chemical Plant". Winter Simulation Conference.
- [15] Hu, W., Sarjoughian, H.S. 2005. "Discrete-event simulation of network systems using distributed object computing". SPECTS'05.
- [16] Sasaki, N. K. e Moschim, E. 2007. "Simulação de Sistemas de Comunicação Óptica Baseada em Simulação a Eventos Discretos". Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP – Brasil. July 2007.
- [17] TOZER, E. P., Broadcast Engineer's Reference Book, 1th Edition, FOCAL PRESS, 2012
- [18] Whitaker C. J., Standard Handbook of Broadcast Engineering, 1th Edition, McGraw-Hill, 2005
- [19] The MathWorks, Inc
- [20] JAHN, B. et al. Tutorial in Medical Decision Modeling Incorporating Waiting Lines and Queues Using Discrete Event Simulation. Value in Health, v. 13, n. 4, p. 501-506, 2010. ISSN 1098-3015
- [21] Silva, D.V.C., Rangel, J.J.A., Matias, I.O., Vianna, D.S. e Peixoto, T.A. "Modelos de Simulação a Eventos Discretos com aspectos de decisão humana: Uma Aplicação com o Ururau". Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento (PODes), Rio de Janeiro, v.4, n.3, p. 339-355, 2012
- [22] Brailsford, S.C. and Hilton, N.A., 2000. 'A comparison of Discrete Event Simulation and System Dy-namics for Modelling Healthcare Systems', J. RILEY, ed. In: 2000, pp18-39
- [23] Macdonald, R.H., 1996. 'Discrete versus continuous formulation: a case study using Coyle's aircraft carrier survivability model'. International System Dynamics Conference, 1996
- [24] Rabelo, L., M. Helal, A. Jones, and H. Min. 2005. "Enterprise Simulation: A Hybrid System Approach." International Journal of Computer Integrated Manufacturing 18(6):498-508
- [25] Law, A. M. and Kelton, W. D., 1991. ,Simulation Modelling and Analysis, . Second Edition ed. Singapore: McGraw-Hill

- [26] Sweetser, A. 1999. "A Comparison of System Dynamics (SD) and Discrete Event Simulation (DES)." In Proceedings of 17th International Conference of the System Dynamics Society. Wellington, New Zealand, July 20 – 23
- [27] Özgün, O., & Barlas, Y. (2009). Discrete vs. Continuous Simulation: When Does It Matter? Paper presented at the 27th International Conference of The System Dynamics Society, Albuquerque, NM
- [28] K. Chahal and T. Eldabi, "A multi-perspective comparison between system dynamics and discrete event simulation," *Journal of Business Information Systems*, pp. 4-17, 2010
- [29] Brito, T. B., E. F. C. Trevisan, and R. C. Botter, 2011. A Conceptual Comparison Between Discrete and Continuous Simulation to Motivate the Hybrid Simulation Technology. In Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, Edited by S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspace, K.P. White, and M. Fu, 3915-3927
- [30] Sinha, R., Paredis, C. J. J., Liang, V-C., and Khosla, P. K., Modeling and Simulation Methods for Design of Engineering Systems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2001, Vol. 1, Iss. 1, pp. 84–91
- [31] Helal, M., Rabelo, L., Sepulveda, J. & Jones, A. 2007. A Methodology for Integrating and Synchronizing the System Dynamics and Discrete Event Simulation Paradigms. In. Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society and 50th Anniversary Celebration. Boston
- [32] Moorcroft, J. and Robinson, S., 2006. 'Comparing Discrete Event Simulation and System Dynamics: Modelling Fishery'. The OR Society Worksop Proceedings March 2006, 28 -29 March 2006, pp137-148
- [33] Crespo-Márquez, A., R. R. Usano and R. D. Aznar, 1993, "Continuous and Discrete Simulation in a Production Planning System. A Comparative Study", Proceedings of International System Dynamics Conference, Cancun, Mexico, p. 58, The System DynamSociety
- [34] Law, A., and W. Kelton. 2000. *Simulation Modeling And Analysis*. McGrawHill, USA
- [35] Venkateswaran, J., Y. -J. SON*, 2005. 'Hybrid system dynamic—discrete event simulation-based architecture for hierarchical production planning'.

- International Journal of Production Research, Vol. 43, No. 20, 15 October 2005
- [36] Sterman, J. 2000. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, MA:Irwin/McGraw-Hill
 - [37] Tesfamarian, D., and B. Lindeberg. 2005. "Aggregate Analysis Of Manufacturing Systems Using System Dynamics And ANP." *Computers & Industrial Engineering* 49(1):98-117
 - [38] Lane, D. C. 2000. "You Just Don't Understand Me." Working Paper, London School of Economics, Operational Research Group
 - [39] Tako, A.A. and Robinson, S., 2006. 'Towards an Empirical Comparison of Discrete-Event Simulation and system Dynamics in the Supply Chain Context'. *The OR Society Worksop Proceedings March 2006*, 28 -29 March 2006, pp137-148
 - [40] Coyle, R.G., 1985. 'Representing Discrete Events in System Dynamic Models: A Theoretical Applica-tion to Modelling Coal Production'. *Journal of Operational Research Society*, 36(4), pp. 307-318
 - [41] Lin, C., T. Baines, J. O'kane, and D. Link. 1998. "A Generic Methodology that Aids the Application of System Dynamics to Manufacturing System Modeling." *International Conference on Simulation*. York, UK, Sept 30 – October 2
 - [42] Helal, M. and Rabelo, L., 2004. 'An enterprise simulation approach to the development of a dynamic balanced scorecard'. *Journal of production Economics*
 - [43] Mak, H., 1992. 'System Dynamics and Discrete Event Simulation Modelling' PhD Thesis London School of Economics
 - [44] Leite, R. B., Silva S. C. M. L. A., Neto L. C. A., Menéndez B. N., Iano Y., 2008. "Análises Comparativas entre Esquemas de Codificação Turbo Convolucional". RCT, Campinas, SP – Brasil.
 - [45] Younger, H. T., Mosterman, J. P., DeLand, S., Orqueda, O., Eastman, D., 2012. " INTEGRATING DISCRETE EVENT AND TIME-BASED MODELS WITH OPTIMIZATION FOR RESOURCE ALLOCATION". *Winter Simulation Conference*.
 - [46] Artuso, M., & Christiansen, H. L. (2014). Discrete-event simulation of coordinated multi-point joint transmission in LTE-Advanced with

- constrained backhaul. In Proceedings of IEEE Eleventh International Symposium on Wireless Communication Systems (pp. 106-110).
- [47] A. Varga, The OMNeT++ Discrete Event Simulation System, In European Simulation Multiconference (ESM'01), (Jun. 2001).
 - [48] Narra, H., Cheng, Y., Çetinkaya, K. E., Rohrer, P. J., Sterbenz, G. P. J., The OMNeT++ Discrete Event Simulation System, SIMUTools '11 Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, pages 439-446, Barcelona, Spain-March 21 - 25, 2011.
 - [49] Sarkar, NI; Halim, SA, A review of simulation of telecommunication networks: simulators, classification, comparison, methodologies, and recommendations, Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology. Special Issue, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT), vol.2(3), pp.10 – 17
 - [50] Waupotitsch, R., Eidenbenz, S., Kroc, L., Multi-Scale Integrated Information and Telecommunications System (MIITS): First Results from A Large-Scale End-To-End Network Simulator, 2006, Winter Simulation Conference.
 - [51] O'Reilly, P. G.; Jrad, A.; Kelic, A.; LeClaire, R., Telecom Critical Infrastructure Simulations: Discrete-Event Simulation vs. Dynamic Simulation How Do They Compare?, 2011, Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07. IEEE.
 - [52] Hill, R. R., McIntyre, A. G., Applications of Discrete Event Simulation Modeling to Military Problems, 2001, Winter Simulation Conference.
 - [53] Zeigler, P. B., DEVS Today: Recent Advances in Discrete Event-Based Information Technology, 11th IEEE ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer Telecommunications Systems, 2003.
 - [54] Saives, J., Faraut, G., and Lesage, J.J., Automated Partitioning of Concurrent Discrete-Event Systems for Distributed Behavioral Identification, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (Volume: PP, Issue: 99), 2017
 - [55] Rasmussen, H. T., Hansen, N. and Lazarova-Molnar, S., A Discrete-Event Simulation Tool for Decision Support in Selecting Project Scheduling

- Strategies, IEEE Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO), 2017 7th International Conference on, 2017
- [56] Zhao, B., Lin, F., Wang, C., Zhang, X., Polis, P. M., and Wang, Y. L., Supervisory Control of Networked Timed Discrete Event Systems and Its Applications to Power Distribution Networks, IEEE Transactions on Control of Network Systems (Volume: 4, Issue: 2, June 2017), 2017
 - [57] Estrada-Vargas, P. A., López-Mellado, E., and Jean-Jacques Lesage, J.J., A Black-Box Identification Method for Automated Discrete-Event Systems, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (Volume: 14, Issue: 3, July 2017), 2017
 - [58] Greasley, A., Methods of modelling people using discrete-event simulation, IEEE Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH), 2016 6th International Conference on, 2016
 - [59] Alves, L. V. R., Bravo, H. J., Pena, P. N. and Takahashi, R. H. C., Planning on Discrete Events Systems: A Logical Approach, 2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Fort Worth, TX, USA, August 21-24, 2016
 - [60] Turner, C.J., Hutabarat, W., Oyekan, J., and Tiwari, A., Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends, IEEE Transactions on Human-Machine Systems, Vol. 46, no. 6, December 2016
 - [61] Netto, J. F., Botter, R. C., and Medina, A. C., Analysis of Capacity Associated to Levels Of Service at Port Terminals Using Systemic Approach and Simulation of Discrete Events, IEEE Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, 2015
 - [62] Bidhandi, M. K., Bidhandi, M. K. and Ebrahimi, S. A. R., Introduce an object-oriented simulator for analyzing discrete events in smart buildings, IEEE First International Congress on Technology, Communication and Knowledge (ICTCK 2014), November, 26-27, 2014 - Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
 - [63] Sorenson, E. and Brath, R., Financial Visualization Case Study: Correlating Financial Timeseries and Discrete Events to Support Investment Decisions, IEEE 17th International Conference on Information Visualisation, Mashhad, 2013

- [64] Letia, T. S., Hulea, M. and Cuibus, O., Controller Synthesis Method for Discrete Event Systems, Automation Quality and Testing Robotics (AQTR) IEEE International Conference on, 2012
- [65] Cardoso, P., Molina, L., Freire, E. O. and Carvalho, E. A. N., A Methodology to Designing Strategies for Robot Soccer Based on Discrete Event Systems Formalism, IEEE Brazilian Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium, 2012
- [66] Hada, A., Coit, D., Agnello, M. and Megow, K., System Reliability Models with Stress Covariates for Changing Load Profiles, IEEE Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2011 Proceedings - Annual, 2011
- [67] Lee, Y., Event-Centric Test Case Scripting Method for SOA Execution Environment, IEEE Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT), 2011 6th International Conference on, 2011
- [68] P.A. Bisgambiglia, L. Capocchi, P. Bisgambiglia and S. Garredu, Fuzzy Inference Models For Discrete Event Systems, Fuzzy Systems (FUZZ), 2010 IEEE International Conference on, 2010
- [69] Holm, L. B., Dahl, F. A., Simulating the Influence of a 45% Increase in Patient Volume on the Emergency Department of Akershus University Hospital, IEEE Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, 2010
- [70] L. Capocchi, D. Federici, A. Yazidi, H. Henao and G-A. Capolino, New Trends and Solutions for the Simulation of Electrical Circuits Using a Discrete Event Approach, Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE, 2009
- [71] P.-A. Bisgambiglia, E. de Gentili, P. Bisgambiglia and J.-F. Santucci, Discrete events system simulation-based deFuzzification method, Electrotechnical Conference, 2008. MELECON 2008. The 14th IEEE Mediterranean, 2008
- [72] Driss, M., Jamoussi, Y., Jézéquel, JM. and Ghézala, H. H. B., A Discrete-Events Simulation Approach for Evaluation of Service-Based Applications, Sixth European Conference on Web Services, 2008
- [73] Takai, S. and Ushio, T., Strong CO-observability Conditions for Decentralized Supervisory Control of Discrete Event Systems, Proceedings

- of the 40th IEEE Conference on Decision and Control Orlando, Florida USA, December 2001
- [74] F. Čapkovič, An approach to modelling and control of discrete event dynamic systems, IEEE Control Conference (ECC), 2001
 - [75] Clune, M. I., Mosterman, P. J. and Cassandras, C. G., Discrete Event and Hybrid System Simulation with SimEvents, IEEE Proceedings of the 8th International, Workshop on Discrete Event Systems, Ann Arbor, Michigan, USA, July 10-12, 2006
 - [76] Reiser, C., Cunha, A. E. C and Cury, J. E. R., The Environment Grail for Supervisory Control of Discrete Event Systems, IEEE Proceedings of the 8th International, Workshop on Discrete Event Systems, Ann Arbor, Michigan, USA, July 10-12, 2006
 - [77] Wang, S., Nakayama, K., Kobayashi, Y. and Maekawat, M., A Data Schema and Its Query for Modeling Dynamic Geographical World, Communications and Information Technology, 2005. ISCIT 2005. IEEE International Symposium on
 - [78] Ghosh, S., Ghosh, P., Basu, K. and Das, S., iSimBioSys: An 'In Silico' Discrete Event Simulation Framework for Modeling Biological Systems, Computational Systems Bioinformatics Conference, 2005. Workshops and Poster Abstracts. IEEE
 - [79] Collins, D. W., Williams, K., and Dye, B., Getting Ready for the Simulation Revolution in 300mm Fab Productivity!, Semiconductor Manufacturing, 2005. ISSM 2005, IEEE International Symposium on
 - [80] Biswas, T., Davari, A., and Feliachi, A., Application of Discrete Event Systems Theory for Modeling and Analysis of a Power Transmission Network, Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES
 - [81] Sanchez-Blanco, J.F., Advances and trends on decentralized supervisory control of discrete event systems, Electronics, Communications and Computers, 2004. IEEE CONIELECOMP 2004. 14th International Conference on
 - [82] Tripakis, S., Decentralized Control of Discrete-Event Systems with Bounded or Unbounded Delay Communication, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 49, no. 9, September 2004

- [83] Boel, R. K. and Schuppen, J. H. van., Decentralized Failure Diagnosis for Discrete-Event Systems with Costly Communication between Diagnosers, Discrete Event Systems, 2002. IEEE Proceedings. Sixth International Workshop on
- [84] Hellgren, A., Lennartson, B., Fabian, M., Modelling and PLC-based Implementation of Modular Supervisory Control, IEEE Proceedings of the Sixth International Workshop on Discrete Event Systems (WODES'02), 2002
- [85] Queiroz, M. H. and Cury, J. E. R., Synthesis and Implementation of Local Modular Supervisory Control for a Manufacturing Cell, IEEE Proceedings of the Sixth International Workshop on Discrete Event Systems (WODES'02), 2002
- [86] Lee, D., Chung, W. and Kim, M., Autonomous Map Building and Smart Localization of the Service Robot PSR, Intelligent Robots and Systems, 2003. (IROS 2003). Proceedings. 2003 IEEE/RSJ International Conference on
- [87] Qiu, W., Kumar, R. and Chandra, V., Decentralized Control of Discrete Event Systems Using Prioritized Composition with Exclusion, IEEE Proceeding of the 2004 American Control Conference Boston, Massachusetts June 30 -July 2, 2004
- [88] McFarlane, D., Product Identity and Its Impact on Discrete Event Observability, IEEE European Control Conference (ECC), 2003
- [89] Dotoli, M. and Fanti, M. P., Performance of Two Real Time Control Strategies for AVG Systems: A Case Study, IEEE European Control Conference (ECC), 2003
- [90] Geyer, T., Larsson, M. and Morari, M., Hybrid Emergency Voltage Control in Power Systems, IEEE European Control Conference (ECC), 2003
- [91] So, S. A. and Roe, E. K., Security Checkpoint Optimizer Simulation Tool for Passenger Screening Prototyping, IEEE Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference
- [92] Gohari, P. and Mannani, A., Discrete-Event Control over Communication Networks, IEEE Proceedings of the European Control Conference 2007, Kos, Greece, July 2-5, 2007

- [93] Basile, F., Chiacchio, P. and Teta, D., A Hybrid Model for Model Predictive Control of Urban Traffic, IEEE Proceedings of the European Control Conference 2007, Kos, Greece, July 2-5, 2007
- [94] Grigorov, L. and Rude, K., Problem Solving in Control of Discrete-Event Systems, IEEE Proceedings of the European Control Conference 2007, Kos, Greece, July 2-5, 2007
- [95] Corrêia, A., Abbas-Turki, A., Bouyekhf, R. and El Moudni, A., Controlling a dioid model of traffic light: a scheduling problem, IEEE Proceedings of the European Control Conference 2007, Kos, Greece, July 2-5, 2007
- [96] MathWorks. Getting Started with MATLAB Primer 2014b. The MathWorks, Inc., 2014.
- [97] MathWorks. Simulink: A Program for Simulating Dynamic Systems, User Guide. The MathWorks, Inc., 2001.
- [98] Moler, C., The Growth of MATLAB and The MathWorks over Two Decades. The MathWorks, Cleve's corner - MathWorks News&Notes, January 2006.
- [99] MathWorks. SimEvents User's Guide. The MathWorks, Inc., 2015
- [100] Ostermann, O., Plankensteiner, K., Prodan, R. and Fahringer, T., GroudSim: An Event-based Simulation Framework for Computational Grids and Clouds, European Conference on Parallel Processing, Euro-Par 2010 Parallel Processing Workshops pp 305-313, 2010
- [101] E. Fabre, A. Benveniste, C. Jard, and S. Haar. Diagnosis of Asynchronous Discrete Event Systems, a Net Unfolding Approach. IEEE Trans. Aut. Control 48(5) 714-727.
- [102] Haar, S., Benveniste, A., Fabre, E. and Jard, C., Partial Order Diagnosability Of Discrete Event Systems Using Petri Net Unfoldings, Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control, Maui, Hawaii USA, December 2003
- [103] Kincaid, R. K. and Alexandrov, N., Scale-Free Networks: A Discrete Event Simulation Approach, International Conference on Computational Science - ICCS 2005 Computational Science, page(s) 1051-1058
- [104] Kim, Y. B., Lee, H. and Choi, H.G., A Discrete Event Simulation Study for Incoming Call Centers of a Telecommunication Service Company, International Conference on AI, Simulation, and Planning in High

- Autonomy Systems, AIS 2004 Artificial Intelligence and Simulation, page(s) 390-399
- [105] Semchedine, F., Bouallouche-Medjkoune, L., Moad, S., Makhloufi, R., Aïssan, D., Discrete Events Simulator for wireless sensor networks, 3rd International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems, VECoS'2009
 - [106] B. P. Zeigler, Theory of Modeling and Simulation. Academic Press, 1976
 - [107] Antoine-Santoni, T., Santucci, J.F., De Gentili, E. and Costa, B., Discrete Event Modeling and Simulation of Wireless Sensor Network performance, SIMULATION: Transactions of The Society for Modeling and Simulation International · February 2008, SIMULATION JOURNAL vol 84, Issue 2-3, page(s) 103-121
 - [108] Pawlikowski, K., Jeong, H.-D. J. and Lee, J.-S. R., On Credibility of Simulation Studies of Telecommunication Networks, IEEE Communications Magazine (Volume: 40, Issue: 1, Jan. 2002), page(s): 132 - 139
 - [109] Deb, S., Chowdhury, N. F. A. and Claudio, D., Service Quality Improvement in an IT Center: A Simulation Study, Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference, 2014
 - [110] Mazzuchi, T. A. and Wallace, R. B., Analyzing Skill-Based Routing Call Centers Using Discrete-Event Simulation and Design Experiment, Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004
 - [111] Zeigler, B. P., Praehofer, H. and Kim, T. G., Theory of Modeling and Simulation, 2nd Edition, Academic Press, 2000
 - [112] Jain, R., "The Art of Computer Systems Performance Analysis", John Wiley & Sons Inc, ISBN: 0-471-50336-3, 1991, 685 p.
 - [113] Law, A. M., Kelton, W. D., "Simulation Modeling and Analysis", 3rd ed., McGraw-Hill Companies Inc, 2000, ISBN 0-07-059292-6, 760p.
 - [114] Cassandras, C. G., "Discrete Event Systems: Modeling and Performance Analysis", Aksen Associates Incorporated Publishers, 1993, ISBN: 0-256-11212-6, 790p.
 - [115] Soares, L.F.G., "Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas", Editora Campus, 1992, ISBN 85-7001-703-0, 250p.

- [116] Christos G. Cassandras and Stephane Lafortune, Introduction to Discrete Event Systems, Springer, 2nd Edition, 2009.
- [117] F. Robert Jacobs and Richard B. Chase, Operations and supply management: the core, McGraw-Hill, 2012
- [118] Banks, J.; Carson II; J.S. & Nelson, B.L. Discrete Event System Simulation, 2nd Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 1996
- [119] V. P. Sing, System Modelling and Simulation, New Age International Pvt Ltd Publishers, 2009
- [120] Stewart Robinson, Simulation: The Practice of Model Development and Use, 1st Edition, Wiley, 2004
- [121] Li, W.; Cassandras, C. G and Clune, M.; Model-Based Design of a Dynamic Voltage Scaling Controller Based on Online Gradient Estimation Using SimEvents. Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision & Control, Manchester, CA, USA, December 13-15, 2006
- [122] Gray, M. A.; Discrete Event Simulation: A Review of SimEvents. Computing in Science & Engineering. 2007, Vol 9, issue 6, Pages 62 – 66
- [123] Wu, E.N and Matthew Ruschmann, M.; Loop Closure for Enhanced Win Percentage in an Air Operation, IEEE Proceedings of the 2007 American Control Conference, Times Square, New York City, USA, July, 2007
- [124] Xu, X. and Wang, Z.; Networked Modeling and Simulation Based on SimEvents. System Simulation and Scientific Computing, 2008. IEEE ICSC 2008. Asia Simulation Conference - 7th International Conference on
- [125] Li, F.; Wang, L. and Liao, C.; CAN (Controller Area Network) Bus Communication System Based on Matlab/Simulink, IEEE 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing
- [126] Khazan, G. and Azgomi, M. A.; A Distributed Attack Simulation for Quantitative Security Evaluation using SimEvents. 2009 IEEE ACS International Conference on Computer Systems and Applications
- [127] Zelenka, J.; Discrete event dynamic systems framework for analysis and modeling of real manufacturing system, 2010 IEEE 14th International Conference on Intelligent Engineering Systems
- [128] Pomante, L.; Spinosi, A.; Mostafizur, M.; Mozumdar, R. and S. O. L. Lavagno. An Extended Framework for the Development of WSN

- Applications. IEEE Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2010 International Congress on
- [129] Bastos, G. S.; Souza, L. E.; Ramos, F. T. and Ribeiro, C. H. C.; A Single-dependent Agent Approach for Stochastic Time-Dependent Truck Dispatching in Open-pit Mining, 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Washington, DC, USA. October 5-7, 2011
 - [130] Han, U. S. P. F.; Khalil, I. and Tari, K.; Preference Based Load Balancing As An Outpatient Appointment Scheduling Aid, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS Osaka, Japan, 3 - 7 July, 2013
 - [131] Ayoob, S. A. and Jabbar, A. I. A., Modeling a Multi-hop Ad-Hoc Network using Chain and Cross-Topologies, The First IEEE International Conference of Electrical, Communication, Computer, Power and Control Engineering ICECCPCE'13. December 17-18, 2013
 - [132] Alsebae, A.; Leeson, M. and Green, R.; The Throughput Benefits of Network Coding for SW ARQ Communication. IEEE 2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops.
 - [133] Alsebae, A.; Leeson, M. and Green, R.; The Throughput Benefits of Network Coding for SR ARQ Communication. IEEE 2013 5th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEEC)
 - [134] Alsebae, A. A.; Leeson, M. S. and Green, R. J.; SimEvents-based Modeling and Simulation Study of Stop-and-Wait Protocol. IEEE 2013 5th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC)
 - [135] Tolk, A.; Diallo, S. Y.; Ryzhov, I. O.; Yilmaz, L.; Buckley, S. and Miller, J. A.; SIMULATION MODEL GENERATION OF DISCRETE EVENT LOGISTICS SYSTEMS (DELS) USING SOFTWARE DESIGN PATTERNS. IEEE Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference
 - [136] Rahatulain, A.; Qureshi, T. N. and Mauro Onori, M.; Modeling and Simulation of Evolvable Production Systems using Simulink/SimEvents. Industrial Electronics Society, IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE
 - [137] Abolhasani, Z.H.; Marian, R. M. and Loung, L.; Optimization of Multi-commodities Consumer Supply Chains Part II: Simulation Modeling.

- Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2014 IEEE International Conference on
- [138] Alsebae, A.; Leeson, M. and Green, R.; Performance of a Network Coding Queuing Model with Deterministic Service. IEEE 2014 9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP)
 - [139] Mediouni, N; Abid, S. B.; Kallel, O. and Hasnaoui, S.; High level NoC Modeling Using Discrete Event Simulation. 2015 IEEE 10th International Design & Test Symposium (IDT)
 - [140] Mansouri, D.; Mokddad, L.; Ben-othman, J. and Ioualalen, M.; Preventing Denial of Service Attacks in Wireless Sensor Networks. 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)
 - [141] Abid,S. B.; Mediouni, N.; Kallel, O. and Hasnaoui, S.; NRTBox: A Matlab Simulink Toolbox for NoC Switch Performance Evaluation and Early Architectural Exploration Using Discrete Event Simulation. 2015 10th International Design & Test Symposium (IDT)
 - [142] Mediouni, N; Abid, S. B.; Kallel, O. and Hasnaoui, S.; SimEvents Based High Level Early Design Space Exploration and Modeling of a 3D Network on Chip. IEEE 2015 10th International Design & Test Symposium (IDT)
 - [143] Magsino, E. R. and Ho, I. W. H.; An Intelligent Highway Tollgate Queue Selector for Improving Server Utilization and Vehicle Waiting Time. 2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), Bali, Indonesia.
 - [144] Peirelinck, T.; Bratcu, A. I. and Besanger, Y.; Impact of IEC 61850 GOOSE communication quality on decentralized reactive power control in smart distribution grids — A co-simulation study, 2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)
 - [145] ZHANG, Y., YANG, Y., GU, H-q., LU, Y-j.; Stability Analysis of NCS under PID Control. IEEE Control and Decision Conference (CCDC), 2016 Chinese
 - [146] Sundharam, S. M. ; Havet, L.; Altmeyer, S. and Navet, N. A Model-Based Development Environment for Rapid-Prototyping of Latency-Sensitive Automotive Control Software. IEEE Embedded Computing and System Design (ISED), 2016 Sixth International Symposium on

- [147] Shukla, O. J.; Soni, G.; Sujil, A. and Kumar, R.; Discrete Event System Framework for Analysis and Modeling of Job shop Scheduling System. IEE 2016 Intl. IEEE Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Sept. 21-24, 2016, Jaipur, India
- [148] Li, W.; Mani, R. and Mosterman, P. J.; EXTENSIBLE DISCRETE-EVENT SIMULATION FRAMEWORK IN SIMEVENTS. IEEE Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference
- [149] An, K. and Gokhale, A.; Model-driven Performance Analysis and Deployment Planning for Real-time Stream Processing. 19th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2013
- [150] Cremona, F., Morelli, M. and Di Natale, M. D.; TRES: A Modular Representation of Schedulers, Tasks, and Messages to Control Simulations in Simulink. SAC'15 Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing. pages 1940-1947, Salamanca, Spain — April 13 - 17, 2015
- [151] Li, W., Mani, R., Mosterman, P. J. and Hubscher-Younger, T.; Simulating a Multicore Scheduler of Real-Time Control Systems in Simulink . MathWorks, 2016
- [152] XIE, X.; Performance Optimization Of Discrete Event Systems With Failures Using Fluid Petri Nets. Proceedings of the 39 IEEE Conference on Decision and Control Sydney, Australia December, 2000
- [153] Khammash, M. and Munsky, B.; System Theory Applications in Biology: From Stochastic Chemical Kinetics to Deterministic Model Invalidation. Proceedings of the European Control Conference 2007 Kos, Greece, July 2-5, 2007